

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**INGENIERO TÉCNICO DE MINAS
ESPECIALIDAD EN: RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y
EXPLOSIVOS**

PROYECTO FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)

JUAN SANTOS VILLAREJO

NOVIEMBRE DE 2013

Autorizo la presentación del proyecto
PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GRANADILLA (TENERIFE)

Realizado por
JUAN SANTOS VILLAREJO

Dirigido por
Prof. ENRIQUE QUEROL

Firmado
Prof. ENRIQUE QUEROL

Fecha: Noviembre 2013

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dedicar unas líneas de agradecimiento a mis padres, no sólo por facilitarme el camino para poder llegar hasta aquí, sino también por apoyarme durante estos años de carrera y su paciencia y ánimo para poder concluir mis estudios. Mi padre ha sido fundamental para la realización de este proyecto y quiero agradecerle todo el esfuerzo y empeño que ha puesto para hacer que en este trabajo todo sea un poco más fácil.

Al resto de mi familia y amigos porque, gracias a ellos, todo este camino ha sido más fácil y posible.

A mi tutor por su confianza, consejos, paciencia y buen humor, por haber estado siempre cuando le he necesitado.

Al Departamento de Ingeniería Química y Combustibles por las facilidades dadas para cursarlas prácticas de empresa y la realización de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	IX
ABSTRACT	IX

Documento 1: Memoria

1	OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO	2
2	ANTECEDENTES	3
2.1	ANTECEDENTES	3
2.2	DESVENTAJAS DE LA INSULARIDAD.....	4
2.3	CANARIAS Y LA ENERGÍA	5
2.3.1	SITUACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO EN CANARIAS. DEMANDA DE ENERGÍA....	5
2.3.2	PREVISIÓN DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DEPENDIENTES DEL PETRÓLEO PARA CANARIAS	9
3	EMPLAZAMIENTO.....	10
3.1	INFRAESTRUCTURAS	11
3.2	AGUA	11
3.3	REDES DE EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y RESIDUALES	12
3.4	ELECTRICIDAD.....	12
3.5	CARRETERAS.....	12
4	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA.....	13
4.1	ÁREA DE DESCARGA DE GNL	14
4.2	ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GNL.....	14
4.3	ÁREA DE BOMBEO SECUNDARIO Y REGASIFICACIÓN	14
4.4	ÁREA DE RECUPERACIÓN DE GAS EVAPORADO (BOIL OFF).....	15
4.5	ÁREA DE MEDICIÓN Y ODORIZACIÓN DE GAS NATURAL	15
4.6	ÁREA DE SERVICIOS AUXILIARES	15
4.7	SISTEMAS DE SEGURIDAD	16
4.8	SISTEMAS VARIOS.....	16
4.9	SISTEMA DE CONTROL DE DISTRIBUIDO	17
4.10	SISTEMA ELÉCTRICO	17
4.11	ÁREA DE EDIFICIOS	17
5	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	18
5.1	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	18
5.1.1	COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL LICUADO	21

5.1.2	PRODUCCIÓN DE GAS.....	21
5.2	PROCESO DEL GNL EN LA PLANTA.....	22
5.2.1	DESCARGA DE GNL DE BUQUES METANEROS.....	22
5.2.2	ALMACENAMIENTO DE GNL.....	23
5.2.3	GANANCIAS DE CALOR	24
5.2.4	MANEJO DEL BOIL-OFF Y VAPORES DESPLAZADOS.....	25
5.2.5	SISTEMA DE VENTEO	27
5.2.6	SISTEMA DE ENVÍO DE GNL.....	27
5.2.7	VAPORIZADORES	28
5.2.8	SISTEMA DE FUEL GAS.....	28
5.2.9	SISTEMA DE MEDIDA DE GAS NATURAL	29
6	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE REGASIFICACIÓN	29
6.1	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GNL.....	29
6.1.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	29
6.1.2	CONCEPCIÓN GENERAL.....	33
6.1.3	PRINCIPIOS DE DISEÑO.....	39
6.1.4	FUNCIONAMIENTO CON EL TANQUE EN MODO DE OPERACIÓN DE PLANTA....	59
6.1.5	DESCRIPCIÓN DE LOS DEPÓSITOS AÉREOS CON RECIPIENTE INTERNO AUTOPORTANTE.....	62
6.1.6	EQUIPOS Y ACCESORIOS DE PROCESO Y SEGURIDAD	65
6.1.7	PROBLEMAS PROPIOS DEL PRODUCTO ALMACENADO. SEGURIDADES Y EMERGENCIAS	70
6.1.8	CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA SEGURIDAD	77
7	SEGURIDAD Y SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	82
7.1	INTRODUCCIÓN	82
7.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD	84
7.3	SISTEMA DE SEGURIDAD PASIVA	84
7.3.1	SISTEMAS DE RECOGIDA DE LÍQUIDOS	85
7.3.2	PROTECCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO CONTRA EL FUEGO Y LA FRAGILIZACIÓN.....	86
7.3.3	DISTANCIAS DE SEGURIDAD ENTRE EQUIPOS.....	86
7.4	SISTEMA DE SEGURIDAD ACTIVA	87
7.4.1	SISTEMAS DE DETECCIÓN.....	87
7.4.2	SISTEMAS DE PROTECCIÓN ACTIVA	89
7.5	CIRCUITO DE AGUA CONTRA INCENDIOS.....	91

7.6	SISTEMA ANTI-INTRUSIÓN	93
8	CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES	94
8.1	IMPACTOS GENERADOS EN FASE DE CONSTRUCCIÓN	95
8.2	IMPACTOS GENERADOS EN FASE DE OPERACIÓN	101
8.3	IMPACTOS GENERADOS EN FASE DE DEMOLICIÓN	107
8.4.	MATRIZ DE IMPACTOS (LEOPOLD)	110
8.5	EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS IMPACTOS IDENTIFICADOS	112
8.5.1	EVALUACIÓN CUALITATIVA EN FASE DE CONTRUCCIÓN	112
8.5.2	EVALUACIÓN CUALITATIVA EN FASE DE OPERACIÓN	113
8.5.3	EVALUACIÓN CUALITATIVA EN FASE DE DEMOLICIÓN	114
8.6	COMENTARIO GLOBAL SOBRE LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS.....	114
8.7	MEDIDAS CORRECTORAS	115
8.7.1	INTRODUCCIÓN	115
8.7.2	MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTORAS EN CONSTRUCCIÓN.....	116
8.7.3	MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTORES EN OPERACIÓN.....	117
8.8	PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL	118
8.8.1	INTRODUCCIÓN	118
8.8.2	PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL EN FASE DE CONSTRUCCIÓN	118
8.8.3	PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL EN FASE DE OPERACIÓN	119
9	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	122
9.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
9.2	BIBLIOGRAFÍA	124
9.3	NORMATIVA REFERENCIADA	125

Documento 2: Estudio económico

10	PRESUPUESTO	127
11	ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	129
11.1	IMPUESTO DE SOCIEDADES.....	129
11.2	VALOR ACTUALIZADO NETO.....	129
11.3	CRÉDITO BANCARIO	130
11.4	ANÁLISIS DEL PROYECTO	131

Documento 3: Pliego de condiciones

12	PLIEGO GENERAL DE CONDICIONES.....	138
12.1	DISPOSICIONES GENERALES	138

12.2	CONDICIONES FACULTATIVAS	139
12.2.1	EPÍGRAFE 1: DELIMITACIÓN GENERAL DE FUNCIONES TÉCNICAS	139
12.2.2	EPÍGRAFE 2: PRESCRIPCIONES GENERALES RELATIVAS A LOS TRABAJOS, A LOS MATERIALES Y A LOS MEDIOS AUXILIARES	146
12.2.3	EPÍGRAFE 3: DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEJAS	153
12.3	CONDICIONES GENERALES	155
12.3.1	EPÍGRAFE 1: PRINCIPIOS GENERALES	155
12.3.2	EPÍGRAFE 2: FIANZAS	156
12.3.3	EPÍGRAFE 3: DE LOS PRECIOS	158
12.3.4	EPÍGRAFE 4: OBRAS POR ADMINISTRACIÓN	161
12.3.5	EPÍGRAFE 5: DE LA VALORACIÓN Y ABONOS DE LOS TRABAJOS	166
12.3.6	EPÍGRAFE 6: DE LAS INDEMNIZACIONES MUTUAS	170
12.3.7	EPÍGRAFE 7: VARIOS	171
13	PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES	175
13.1	PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA	175
13.1.1	DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	175
13.1.2	EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	178
13.2	PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA	183
13.3	PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA	185
13.4	PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL	186
14	ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	189
14.1	MEMORIA	189
14.1.1	OBJETIVO DEL ESTUDIO	189
14.2	CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA	189
14.2.1	DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y SITUACIÓN	189
14.2.2	PROBLEMÁTICA DE LA OBRA	190
14.2.3	PRESUPUESTO, PLAZO DE EJECUCIÓN Y PERSONAL PREVISTO	190
14.2.4	TRABAJOS PREVIOS A LA REALIZACIÓN DE LA OBRA	190
14.2.5	SERVICIOS HIGIÉNICOS, VESTUARIOS, COMEDOR Y OFICINA DE OBRA	191
14.2.6	INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA LA OBRA	191
14.2.7	NORMAS O MEDIDAS PREVENTIVAS	192
14.3	FASES DE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA	193
14.3.1	PERSONAL DE TRABAJO	193
14.3.2	ALBAÑILERÍA	195

14.4	MEDIOS AUXILIARES.....	198
14.4.1	ANDAMIOS	198
14.4.2	ESCALERAS DE MANO.....	201
14.5	MAQUINARIA DE OBRA.....	203
14.5.1	MAQUINARIA EN GENERAL.....	203
14.5.2	MESA DE SIERRA CIRCULAR.....	206
14.5.3	SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO (SOLDADURA ELÉCTRICA)	209
14.5.4	MÁQUINAS DE HERRAMIENTA GENERAL.....	213
14.5.5	HERRAMIENTAS MANUALES	215
14.6	TRABAJOS QUE IMPLICAN RIESGOS ESPECIALES.....	217
15	NORMATIVA APLICADA	217
15.1	SEÑALIZACIONES	218
15.2	EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	218
15.3	EQUIPOS DE TRABAJO	218
15.4	SEGURIDAD EN MÁQUINAS.....	218
15.5	PROTECCIÓN ACÚSTICA	219
15.6	OTRAS DISPOSICIONES DE APLICACIÓN	219
15.7	CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS MEDIOS DE PROTECCIÓN	220
15.8	PROTECCIÓN PERSONAL	220
15.8.1	PROTECCIONES COLECTIVAS	221
15.9	CONDICIONES TÉCNICAS DE LA MAQUINARIA.....	221
15.10	CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS SERVICIOS DE HIGIENE Y BIENESTAR.....	222
15.11	ORGANIZACIÓN DE LA SEGURIDAD.....	222
15.11.1	SERVICIO DE PREVENCIÓN	222
15.11.2	SEGUROS DE RESPONSABILIDAD CIVIL Y TODO RIESGO EN OBRA.....	224
15.11.3	FORMACIÓN	224
15.11.4	RECONOCIMIENTOS BÁSICOS	225
15.12	OBLIGACIONES DE LAS PARTES IMPLICADAS DE LA PROPIEDAD	225
15.13	NORMAS PARA LA CERTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD	226
15.14	PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD	226
 Documento 4: Anexos		
16	ANEXO A: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	229
16.1	BALANCE DE MATERIA	229
16.1.1	BALANCE DE MATERIA SIN DESCARGA DE BUQUE	229

16.1.2	BALANCE DE MATERIA CON DESCARGA DE BUQUE.....	233
16.2	BALANCE DE ENERGÍA	236
16.2.1	BALANCE DE ENERGÍA EN LOS VAPORIZADORES DE AGUA DE MAR	236
16.2.2	BALANCE DE ENERGÍA EN EL VAPORIZADOR DE COMBUSTIÓN SUMERGIDA .	239
16.2.3	BALANCE DE ENERGÍA EN EL RELICUADOR	240
16.3	DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES	241
16.3.1	COMPRESORES DE GAS	246
16.3.2	RELICUADOR.....	257
16.3.3	BOMBAS PRIMARIAS	261
16.3.4	BOMBAS SECUNDARIAS	270
16.3.5	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GNL.....	276
16.3.6	VAPORIZADORES AGUA DE MAR	287
16.3.7	VAPORIZADOR DE COMBUSTIÓN SUMERGIDA.....	300
17	ANEXO B: LISTADO DE EQUIPOS DE PROCESO.....	305
17.1	LISTADO DE EQUIPOS DE PROCESO	305
17.2	CONDICIONES OPERATIVAS DE LOS EQUIPOS.....	309
18	ANEXO C: NORMATIVA APLICABLE	334

Documento 5: Planos

19	PLANO 01: IMPLANTACIÓN GENERAL PLOT-001	339
20	PLANO 02: ESQUEMA UNIFILAR SISTEMA ELÉCTRICO PLOT-002.....	339
21	PLANO 03: DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTOS PLOT-003	339

ÍNDICE DE FIGURAS

Documento 1: Memoria

Figura 1: Consumo tendencial previsto de diéseloil y fueloil industrial en Canarias (Plan Energético de Canarias, PECAN 2007)	10
Figura 2: Polígono industrial de Granadilla (Tenerife) (Google Maps).....	13
Figura 3: Proceso y equipos principales de la planta de regasificación (Enagás)	20
Figura 4: Partes de un tanque de almacenamiento de contención simple (Manual de plantas de regasificación. Sedigas).....	38

Documento 2: Estudio económico

Figura 5: Evolución del VAN	132
-----------------------------------	-----

Documento 4: Anexos

Figura 6: Factor generalizado de compresibilidad (Soluciones prácticas para el Ingeniero Químico)	248
Figura 7: Rangos aproximados de aplicación para las compresoras recíprocas, centrífugas y de flujo axial (Soluciones prácticas para el Ingeniero Químico)	250
Figura 8: Diagrama de Mollier (Catálogo de compresores Elliot)	253
Figura 9: Balance térmico del relicuador	258
Figura 10: Rangos de aplicación de las bombas (Soluciones prácticas para el Ingeniero Químico)	266
Figura 11: Aislamiento térmico (suelo) (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)	284
Figura 12: Aislamiento térmico (pared) (Manual de plantas de regasificación. Sedigas).....	286
Figura 13: Aislamiento térmico (techo) (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)	287
Figura 14: Diagrama de equilibrio presión-temperatura del GNL (Manual del Ingeniero Químico)	290
Figura 15: Calor latente del GNL en función de la temperatura (Manual del Ingeniero Químico)	291
Figura 16: Calor específico a presión constante en función de la temperatura para el GNL (Manual del Ingeniero Químico).....	291
Figura 17: Escalado de las temperaturas en el intercambiador	297
Figura 18: Esquema de un vaporizador de agua de mar abierto (Google imágenes)	298
Figura 19: Gradiente de temperaturas	302

ÍNDICE DE TABLAS

Documento 1: Memoria

Tabla 1: Configuración del parque de generación por isla según potencia eléctrica. Año 2011 (Anuario Energético de Canarias 2011)	6
Tabla 2: Suministros al mercado interior de Canarias. Año 2011 (Anuario Energético de Canarias 2011)	7
Tabla 3 Consumo tendencial previsto de diéseloil y fueloil industrial en Canarias (Plan Energético de Canarias, PECAN 2007)	9
Tabla 4: Composiciones de diseño para el GNL importado	21
Tabla 5: Caudales de regasificación para el diseño de la regasificadora	21
Tabla 6: Características de los distintos tipos de tanques de almacenamiento.....	36
Tabla 7: Residuos sólidos generados durante la fase de operación de la planta (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)	105
Tabla 8: Matriz de Leopold (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental) ..	111
Tabla 9: Evaluación cualitativa en fase de construcción (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)	112
Tabla 10: Evaluación cualitativa en fase de operación (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental).....	113
Tabla 11: Evaluación cualitativa en fase de demolición (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)	114
Tabla 12: Medidas preventivas y/o correctoras en construcción (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental).....	116
Tabla 13: Medidas preventivas y/o correctores en operación (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental).....	117

Documento 2: Estudio económico

Tabla 14: Inversión prevista en la planta de regasificación	128
Tabla 15: Estudio Económico	136

Documento 4: Anexos

Tabla 16: Composición típica del GNL de peso molecular 17,5 g/mol	229
Tabla 17: Características del compresor	257
Tabla 18: Características del GNL	264
Tabla 19: Características de la bomba primaria	270
Tabla 20: Características del GNL	272
Tabla 21: Características de la bomba secundaria.....	276
Tabla 22: Características del tanque de almacenamiento de contención total	278
Tabla 23: Aislamiento del suelo (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)	284
Tabla 24: Aislamiento pared (Manual de plantas de regasificación. Sedigas).....	285
Tabla 25: Aislamiento techo (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)	286
Tabla 26: Características del agua de mar	293
Tabla 27: Características de un vaporizador de agua de mar	299

RESUMEN

Se ha realizado un diseño básico de los equipos principales de una instalación de almacenamiento y regasificación de Gas Natural Licuado (GNL) situado en el polígono industrial de Granadilla, en la isla de Tenerife, dentro de la Comunidad Autónoma de las Islas Canarias. La capacidad de la planta es de 150 000 m³(n)/h.

La carencia actual de este combustible en las islas hace que la futura ubicación de una instalación de este tipo sea idónea para sustituir a medio y largo plazo los combustibles pesados que se consumen en la actualidad por otro producto más limpio, de menor coste, menos contaminante y mejores características de combustión como es el Gas Natural.

El proyecto ha comprendido el diseño de los equipos más importantes de la planta, tales como tanques de almacenamientos, bombas, compresores y relicuador. También se ha realizado un estudio medioambiental y un presupuesto aproximado del coste de la instalación.

ABSTRACT

There has been a basic design of major equipment of a plant storage and regasification of Liquefied Natural Gas (LNG) located in the industrial area of Granadilla in Tenerife Island, in the Autonomous Community of the Canary Islands. Plant capacity is 150 000 m³(n)/h.

The Project included the design of the most important equipment of the plant, such as storage tanks, pumps, compressors and reliquefier. There has also been an environmental study and an estimation of the installation's cost.

The paper includes a description of the processes taking place in the plant, marine facilities discharge tankers, auxiliary plant and major environmental considerations must be taken into account, both in the construction phase and in the operation of the installation.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**INGENIERO TÉCNICO DE MINAS
ESPECIALIDAD EN: RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y
EXPLOSIVOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

JUAN SANTOS VILLAREJO

NOVIEMBRE DE 2013

1 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objeto de este documento es realizar el diseño de los principales equipos que formarán parte de la planta de almacenamiento y regasificación de gas natural licuado de Granadilla (Tenerife). Con este fin, se han realizado los cálculos necesarios para establecer el balance de materia y energía en los vaporizadores de agua de mar y combustión sumergida y en el relicuador, se han determinado las ganancias de calor en los tanques de almacenamiento de gas natural licuado y se han dimensionado las bombas primarias y secundarias de la instalación.

Con el fin de poner en contexto los citados cálculos, el presente documento incluye una descripción de los procesos que tendrán lugar en la planta, las instalaciones marítimas de descarga de buques metaneros, los sistemas auxiliares de planta y las principales consideraciones medioambientales que habrán de ser tenidas en cuenta, tanto en la fase de construcción como en la de operación de la instalación. Asimismo, se hace una relación de las particularidades del sistema gasista español y de su demanda y de la normativa aplicable al diseño y construcción de este tipo de plantas industriales.

2 ANTECEDENTES

2.1 ANTECEDENTES

Las Islas Canarias forman un archipiélago en el Océano Atlántico que constituyen una de las diecisiete comunidades autónomas de España y una de las regiones denominadas “ultra periféricas” de la Unión Europea.

Está formado por siete islas principales: El Hierro, La Gomera, La Palma y Tenerife, que forman la provincia de Santa Cruz de Tenerife, con capital en Santa Cruz; y Fuerteventura, Gran Canaria y Lanzarote, que componen la provincia de las Palmas, con capital en Las Palmas de Gran Canaria. También forman parte de Canarias los territorios insulares del Archipiélago Chinijo (La Graciosa, Alegranza, Montaña Clara, Roque del Este y Roque del Oeste) y las islas de Lobos, todos ellos pertenecientes a la provincia de Las Palmas. La totalidad de las islas ocupa una superficie de 7 447 km².

El archipiélago está situado frente a la costa noreste de África, cercano a Marruecos, distando la Isla de Fuerteventura (la más oriental) tan sólo 95 km de la costa africana. Sin embargo más de 1 400 km separan las islas del continente europeo. A pesar de estas circunstancias, la cultura de las islas es de tipo occidental.

El clima es subtropical oceánico, con temperaturas mitigadas todo el año por el mar y en verano por los vientos alisios, con importantes variaciones en el régimen de precipitaciones. En las islas orientales son más escasas que en las occidentales; así Fuerteventura y Lanzarote se caracterizan por un clima árido semidesértico. La escasez de lluvia ha llevado a la instalación de desaladoras para abastecer zonas urbanas.

Canarias tiene una población en torno a los 2 118 000 habitantes, con una densidad de 284 hab/km², siendo la octava Comunidad Autónoma de España en población, que está concentrada mayoritariamente en las dos islas capitalinas, alrededor del 43% en la isla de Tenerife y el 40% en la isla de Gran Canaria.

2.2 DESVENTAJAS DE LA INSULARIDAD

Canarias en la Unión Europea

Junto con otros territorios de la U. E. (Azores, Madeira, Martinica, Reunión, Guadalupe...), Canarias forma parte de las Regiones Ultra periféricas de la U. E. (R. U. P.) que se caracterizan por:

- Desventajas comunes (lejanía al continente, cercanía a áreas subdesarrolladas, medio natural adverso o con altos riesgos naturales...)
- Problemas de mercado y de producción debidos a sus desventajas: lejanía de Europa, fragmentación territorial, cercanía a países atrasados o limitación del consumo. Por ello, la producción resulta más onerosa y no puede alcanzar el nivel mínimo de eficiencia.

La U. E. considera estas desventajas como permanentes (independientemente del nivel de renta alcanzado) y ha adoptado medidas específicas para solucionarlos (medidas económicas especiales y fondos específicos de ayuda). Sin embargo, las R.U.P mantienen un estrecho contacto para que la U. E. tenga bien presente su situación. El resultado de esta estrecha colaboración es el Programa RUP-PLUS para dar a conocer su situación a los estados que se vayan incorporando, estudiar cómo les afecta el proceso globalizador y elaborar estrategias comunes de cara al futuro.

La nacionalidad canaria padece una serie de desventajas comparativas derivadas de su situación ultra periférica:

- Insularidad: Dicha nacionalidad tiene evidentes dificultades de accesibilidad (para entrar y salir del Archipiélago) y padece una fuerte dependencia de los transportes aéreos y marítimos.
- Doble insularidad: Las islas no capitalinas sufren una doble dependencia al estar casi todas las actividades administrativas y económicas concentradas en las dos islas capitalinas.

- Lejanía del continente europeo: Europa es, por ahora, el principal mercado abastecedor y receptor. El punto europeo más cercano está a 1 500 km.
- Escasez de recursos naturales estratégicos: agua, energía y suelo.
- Relieve accidentado en la mayoría de las islas y fragilidad ambiental: El territorio es reducido, y el turismo provoca un gran impacto ambiental (y cultural).

Para paliar, en la medida de lo posible, estas desventajas, la U. E. ha puesto en marcha medidas económicas especiales y fondos específicos de ayuda para Canarias recogidos en el POSEICAN (Programa de Opciones Específicas por la Lejanía e Insularidad de Canarias). Estas medidas tienen dos líneas fundamentales: disposiciones fiscales y aduaneras, y adaptación de las políticas agraria y pesquera comunes.

2.3 CANARIAS Y LA ENERGÍA

2.3.1 SITUACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO EN CANARIAS. DEMANDA DE ENERGÍA

El consumo energético está fuertemente ligado al problema de la insularidad. Las fuentes de energía primaria son de origen fósil, siendo el aporte de las renovables únicamente un 9,45 % (datos 2011) como se muestra en la Tabla 1.

Fuentes de energía primaria	Gran Canaria	Tenerife	Lanzarote	Fuerteventura	La Palma	La Gomera	El Hierro	Canarias
PRODUCTOS DERIV. PETRÓLEO								
Centrales térmicas	1.113,8	1.131,1	213,9	187,0	105,3	22,9	13,0	2.786,9
Refinería	-	25,9	-	-	-	-	-	25,9
Cogeneración	24,9	39,2	-	-	-	-	-	64,1
Total prod derivados petróleo	1.138,6	1.196,2	213,9	187,0	105,3	22,9	13,0	2.876,9
FUENTES RENOVABLES								
Eólica	79,1	36,7	8,8	13,1	5,9	0,4	0,1	143,9
Fotovoltaica (*)	34,0	97,3	6,5	10,7	4,4	0,01	0,03	152,9
Minihidráulica	-	1,2	-	-	0,8	-	-	2,0
Biogás (vertedero)	-	1,6	-	-	-	-	-	1,6
Total fuentes renovables	113,1	136,8	15,2	23,8	11,1	0,4	0,1	300,4
TOTAL	1.251,7	1.333,0	229,1	210,8	116,4	23,2	13,1	3.177,3
<i>Unidades: Megavatios (MW)</i>								
<i>Valores en bornes del alternador</i>								
<i>(*) Sólo instalaciones conectadas a red</i>								

Tabla 1: Configuración del parque de generación por isla según potencia eléctrica. Año 2011 (Anuario Energético de Canarias 2011)

El consumo de combustibles de origen fósil tiene su origen exclusivamente en los productos suministrados por la Refinería de Cepsa S.A. situada en Santa Cruz, y por las importaciones.

La Refinería tiene una producción de diseño de unos 4.8 millones de toneladas anuales, destinadas exclusivamente a cubrir la demanda de petróleo insular. Cuenta en sus instalaciones con una planta de cogeneración (utilizando gas residual de sus instalaciones) que produce el 15 % del consumo de luz de la ciudad de Santa Cruz. No obstante, la antigüedad de las instalaciones y de su esquema de refino (fue inaugurada en 1931 y la primera de todas las españolas), y el hecho de que actualmente está situada prácticamente dentro del casco urbano de Santa Cruz, han motivado que en los últimos años se piense seriamente en su cierre. De hecho, en el Plan General de Ordenación Urbana de Santa Cruz de Tenerife se exige su cierre y traslado para el año 2015.

El consumo interno de combustibles en Canarias, durante el año 2011 (últimos datos disponibles), figura en la Tabla 2:

Productos	Gran Canaria	Tenerife	Lanzarote	Fuerteventura	La Palma	La Gomera	El Hierro	Canarias
GAS REFINERÍA								
Gas Refinería	0	24.731	0	0	0	0	0	24.731
GLP								
Butano	8.449	24.673	2.052	1.147	3.279	794	335	40.729
Propano	15.262	17.359	6.647	6.281	0	0	0	45.549
Total GLP	23.711	42.032	8.699	7.428	3.279	794	335	86.278
GASOLINAS								
Gasolina 95	144.156	123.700	34.931	21.690	13.407	2.453	1.488	341.825
Gasolina 98	48.054	72.948	3.030	4.275	4.953	1.199	759	135.218
Total Gasolinas	192.210	196.648	37.961	25.965	18.360	3.652	2.247	477.043
QUEROSENO								
Queroseno Corriente	55	27	33	0	0	0	0	115
GASOIL								
Gasoil I.V.P.	174.345	175.564	42.076	34.512	20.251	4.182	3.360	454.290
Gasoil distribuidores	71.793	75.020	6.315	13.168	5.524	1.111	1.114	174.045
Gasoil eléctrico	310.410	406.911	13.608	31.940	1.002	0	0	763.871
Gasoil sin especificar	9	0	0	0	0	0	0	9
Total Gasoil	556.557	657.495	61.999	79.620	26.777	5.293	4.474	1.392.215
DIÉSEL OIL								
Diésel oil industrial	15.117	14.954	2.020	1.286	0	544	0	33.921
Diésel oil eléctrico	0	0	0	0	0	16.176	9.953	26.129
Total Diésel oil	15.117	14.954	2.020	1.286	0	16.720	9.953	60.050
FUEL OIL								
Fuel oil industrial	17.821	14.780	0	0	0	0	0	32.601
Fuel oil eléctrico	445.984	381.708	175.437	121.696	55.883	0	0	1.180.708
Total Fuel oil	463.805	396.488	175.437	121.696	55.883	0	0	1.213.309
TOTAL COMBUSTIBLE	1.251.455	1.332.375	286.149	235.995	104.299	26.459	17.009	3.253.741

Unidades: Toneladas métricas (Tm)

Tabla 2: Suministros al mercado interior de Canarias. Año 2011 (Anuario Energético de Canarias 2011)

Se deduce una fuerte dependencia energética de las fracciones más pesadas del petróleo, como son los Diéseloil y Gasoil eléctricos e industriales, pero sobre todo del Fueloil. El conjunto representa el 62.6 % del total.

El gas producido en la planta de regasificación sustituiría al dieseloil y al fueloil, en principio para la isla de Tenerife, con posible ampliación a otras islas del archipiélago, e incluso, en el futuro, a territorio marroquí.

Actualmente, no existe en las islas ninguna instalación que genere o consuma Gas Natural. La solución de instalar plantas de regasificación contribuiría sin duda a promover la utilización masiva de este gas tanto en usos industriales como domésticos. Por otra parte, en el caso de un hipotético traslado de la Refinería a otra zona de la isla de Tenerife, se aprovecharía para instalar en ella un esquema de refino mucho más moderno y equilibrado que el actual (la refinería sería, además, de menor tamaño).

La nueva refinería y la planta de regasificación no serían, pues, antagónicas, sino complementarias. La primera, con diseño adecuado, produciría el carburante necesario para los automóviles isleños, queroseno para aviación, y los gasóleos pesados y fuel óleos se destinarían exclusivamente a utilizarse como combustible para barcos. De esa forma, la planta de gas suministraría el combustible suficiente para uso doméstico, centrales térmicas e industrias en general que lo demandasen, sustituyendo en su totalidad a los gasóleos pesados y fuel óleos.

El suministro del gas se haría de las mismas fuentes que el gas peninsular, abaratándose en unos casos y encareciéndose en otros debido a las distancias.

La utilización del gas natural como fuente de energía sigue las directrices de la cumbre de Kioto de 1997, en relación con la reducción de emisiones contaminantes. Los beneficios medioambientales del gas natural en relación con otros combustibles fósiles se derivan principalmente de que en su combustión produce entre un 40 y un 45% menos de CO_2 que el carbón y entre un 20 y un 30 % menos que los productos petrolíferos. Además, no emite partículas sólidas ni cenizas. En cuanto a los óxidos de nitrógeno (NO_x), las emisiones son inferiores a las de los productos petrolíferos y el carbón, y prácticamente no emite dióxido de azufre (SO_2).

Por otro lado, el gas natural es un combustible más económico que el gasoil empleado en los actuales ciclos combinados, por lo que permitiría reducir sustancialmente el coste de la generación eléctrica en las islas y diversificar sus abastecimientos energéticos fósiles que actualmente dependen únicamente del petróleo. El mercado mundial de gas natural está en continua expansión, se encuentra bien diversificado y cuenta con importantes productores en la cercana África (Argelia, Libia, Nigeria), y en Europa.

En cuanto a la tecnología *offshore*, los grandes consumidores de gas natural de Canarias serán las centrales térmicas, y la disminución de fiabilidad inherente a este tipo de instalaciones podría ocasionar interrupciones de suministro de gas, y, por tanto, del suministro eléctrico. Esta circunstancia desaconseja la utilización de plantas *offshore* en Canarias, ya que la calidad y fiabilidad del suministro eléctrico podrían verse gravemente comprometidas, con lo que parece más conveniente la implantación de las regasificadoras en tierra firme.

2.3.2 PREVISIÓN DE LAS NECESIDADES ENERGÉTICAS DEPENDIENTES DEL PETRÓLEO PARA CANARIAS

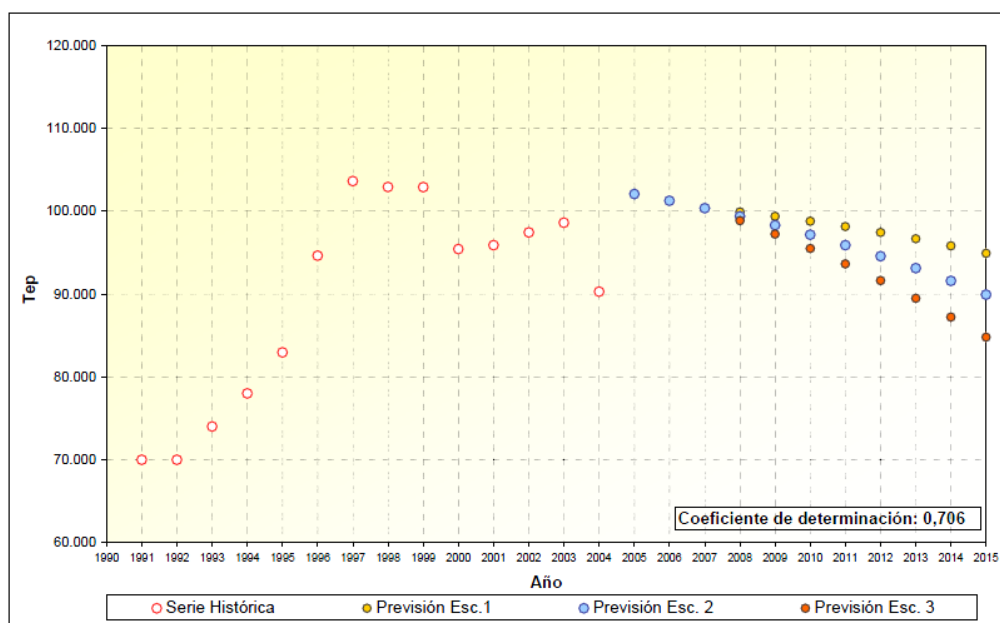
A continuación se incluyen, a modo de ejemplo, algunas previsiones de consumo de combustibles pesados para Canarias hasta el año 2015, siendo estos datos los únicos disponibles hasta la fecha.

Año	Consumo
2004	90.282
2005	102.053
2006	101.241
2007	100.347
2008	99.367
2009	98.301
2010	97.145
2011	95.896
2012	94.553
2013	93.112
2014	91.570
2015	89.925

Tabla 3 Consumo tendencial previsto de diéseloil y fueloil industrial en Canarias (Plan Energético de Canarias, PECAN 2007)

En la Tabla 3 se observa un descenso continuado del consumo, debido a la crisis que comenzó en el año 2007. Lo mismo ocurre con el consumo de Gas Natural en España, que desciende a unos niveles en torno al 3 % anual.

Figura 1: Consumo tendencial previsto de diéseloil y fueloil industrial en Canarias (Plan Energético de Canarias, PECAN 2007)



Como se ha mencionado anteriormente, el gas natural sustituiría a los combustibles pesados en las industrias y en las plantas de generación de energía. En la Figura 1 observamos un consumo previsto de combustibles pesados que se pretenden sustituir por el gas natural. También podría utilizarse como combustible doméstico en las cocinas, calefacciones (escaso consumo, dada la climatología de las islas), vehículos de transporte público, etc. De esta forma, se sustituirían unos combustibles pesados, y de combustión problemática, por otro mucho más limpio y de combustión más fácil y limpia, y mucho menos contaminante, con lo que el conjunto de las islas obtendría un importante beneficio medioambiental.

3 EMPLAZAMIENTO

Las islas de Tenerife y Gran Canaria, ambas capitalinas, son las que presentan un mayor desarrollo en infraestructuras de tipo industrial, transporte, construcción e inversión económica por lo que inicialmente se barajaron ambas posibilidades siendo finalmente Tenerife la capital donde se llevará a cabo el desarrollo del proyecto al disponer de un polígono industrial (Granadilla, perteneciente a Granadilla de Abona) ya en marcha, con parcelas disponibles y una situación muy adecuada para este tipo de

industrias. Hay que mencionar que el lugar de destino de la planta de regasificación, tras su traslado, es también ese mismo polígono.

Se ha elegido este lugar, y no otro, principalmente porque es una zona industrial. La función de los Polígonos Industriales es la de ofrecer suelo industrial, infraestructura y concentración de la actividad industrial, que llevan implícitas ventajas de diverso orden fiscal y económico, además de permitir ordenar el territorio de una manera más racional.

Se encuentra situado en zona costera, entre la Autopista del Sur (TF-1) y la línea de costa, y entre los núcleos poblacionales de San Isidro y Chimiche (aproximadamente en el kilómetro 53 de la Autopista). Destaca su cercanía al aeropuerto Tenerife Sur - Reina Sofía.

Otros de los motivos es la previsión de un nuevo puerto en Granadilla con un calado que permitiría el atraque de buques metaneros.

El municipio de Granadilla de Abona presenta el perfil más industrial de la vertiente sur de la isla de Tenerife, ya que la superficie que ocupa el Polígono Industrial (5 701 784,862 m²) supone que sea uno de los polígonos más extensos de España, aunque actualmente está aún en proceso de urbanización y construcción de las naves.

3.1 INFRAESTRUCTURAS

Agua, electricidad y carreteras son los tres grandes problemas de todo polígono industrial. En Granadilla el agua se suministra en cantidades suficientes y con una calidad más que aceptable, así como la infraestructura eléctrica se encuentra totalmente cubierta gracias a la Central térmica de Granadilla.

3.2 AGUA

El abastecimiento de agua potable está garantizado por la red existente en el polígono, que pasa a pie de parcela con una presión de 2,5 k

g/cm². Las acometidas a cada parcela contemplan el suministro de agua tanto para consumo industrial como doméstico, entendiendo como doméstico, aquel consumo del agua para el aseo personal. La calidad del agua es adecuada para la actividad que se va a llevar a cabo en esta industria. Las plantas de regasificación son poco exigentes en cuanto al consumo de agua dulce, ya que el mayor intercambio térmico tiene lugar en los vaporizadores, donde se utiliza exclusivamente agua del mar (con la instalación de filtros adecuados manteniendo un $\Delta T \leq 4^{\circ} \text{C}$ como diferencia de temperatura entre el aporte de agua y el retorno de ésta al mar).

3.3 REDES DE EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES Y RESIDUALES

La red de aguas residuales, con toma en todas las parcelas, cumple con la normativa vigente para desarrollar actividades industriales.

3.4 ELECTRICIDAD

La infraestructura eléctrica se encuentra totalmente cubierta gracias a la Central térmica de Granadilla.

3.5 CARRETERAS

En cuanto a las carreteras, el polígono se caracteriza por sus viales anchos y de fácil acceso además de disponer de la Autopista del Sur (TF-1) para, de forma rápida cubrir los desplazamientos alrededor de la isla garantizando los servicios necesarios para que la actividad industrial se desarrolle correctamente.

Figura 2: Polígono industrial de Granadilla (Tenerife) (Google Maps)



La planta de regasificación se localizará en el polígono, en una manzana situada cerca de una central térmica. La parcela tiene una extensión de 20 ha. Observamos el emplazamiento donde se situará la planta de regasificación en la Figura 2.

4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

La construcción de la nueva planta de regasificación conlleva la de todas las infraestructuras necesarias para la importación, almacenamiento, regasificación y exportación de gas natural. Sus características principales son:

- Producción anual: Entre $1,3 \cdot 10^9 \text{ m}^3(\text{n})$ y $2 \cdot 10^9 \text{ m}^3(\text{n})$.
- Producción horaria: Mínima: $75\,000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$.
Máxima: $225\,000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$
- Presión del gas de emisión: 72 bar.
- Gasoductos de salida: 1.

En la configuración de la planta se pueden distinguir las siguientes áreas funcionales:

4.1 ÁREA DE DESCARGA DE GNL

Compuesta de las infraestructuras terrestres y marítimas necesarias para la descarga de buques metaneros de hasta 145 000 m³. Se dispone de cuatro brazos de descarga, tres para líquido y uno para gas, que permitirán obtener caudales de descarga de GNL de 12 000 m³/h con el objetivo de tardar algo menos de 12 h en descargar el buque.

4.2 ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GNL

Compuesta por un tanque de 150 000 m³ y el sistema de bombeo primario asociado, formado por bombas primarias criogénicas alojadas en el interior del tanque. El tanque proporcionará a la planta un nivel de autonomía equivalente a 12 días de producción máxima de la planta. El diseño de la planta tendrá que contemplar equipos redundantes a fin de que una operación de mantenimiento o una indisponibilidad de un equipo no afecten al normal desarrollo del proceso productivo.

4.3 ÁREA DE BOMBEO SECUNDARIO Y REGASIFICACIÓN

Compuesta por las bombas secundarias (bombas criogénicas que permiten adaptar la presión del GNL a una presión apta para su emisión a red), los vaporizadores de agua de mar y un vaporizador de combustión sumergida, que se empleará sólo en caso de indisponibilidad de uno de los vaporizadores de agua de mar o en caso de requerirse una emisión punta.

Los vaporizadores se diseñarán para una producción máxima de 150 000 m³(n)/h. No obstante se contará con equipos de reserva que permitirán suministrar una punta de 225 000 m³(n)/h, en caso de operar simultáneamente los

equipos de operación y de reserva. Esta simultaneidad sólo se producirá durante situaciones puntuales de demanda inusualmente alta.

4.4 ÁREA DE RECUPERACIÓN DE GAS EVAPORADO (BOIL OFF)

Permitirá la recuperación del gas que se evapora en el interior de los tanques de GNL. Estará compuesto por tres compresores de gas, un relicuador (que permitirá que el gas evaporado vuelva a estado líquido y así evitar pérdidas de energía en el proceso, mejorando el rendimiento conjunto de la instalación) y un sistema de alivio de presión.

4.5 ÁREA DE MEDICIÓN Y ODORIZACIÓN DE GAS NATURAL

Compuesto por dos líneas independientes que suministrarán gas tanto a las instalaciones industriales que se encuentran en el polígono industrial de Granadilla, como al gasoducto de transporte de la red canaria que comunicará la terminal de regasificación con la ciudad de Tenerife. Cada línea contará con su estación de medida y odorización.

4.6 ÁREA DE SERVICIOS AUXILIARES

Se catalogarán como servicios auxiliares los suministros que se indican a continuación:

- Agua de mar (captación y retorno).
- Nitrógeno.
- Agua industrial y potable.
- Aire comprimido.

- Fuel-gas.
- Gasoil.
- Hipoclorito.
- Tratamiento de efluentes.

4.7 SISTEMAS DE SEGURIDAD

- Sistema de seguridad pasiva (distancias de seguridad entre equipos, recogidas de derrames, protecciones contra el fuego, etc).
- Sistema de seguridad activa (detección, extinción y sistema de control de seguridad).

4.8 SISTEMAS VARIOS

- Megafonía.
- Comunicaciones.
- Anti-intrusión.
- Circuito cerrado de televisión.
- Alumbrado.
- Red de tierras.
- Protección catódica.

- Pararrayos.

4.9 SISTEMA DE CONTROL DE DISTRIBUIDO

Integrado por armarios, cableados, programas informáticos y equipos que permitirán controlar y supervisar todas las actividades del terminal.

4.10 SISTEMA ELÉCTRICO

Incluye tanto la subestación de acometida eléctrica al terminal (realizada en doble acometida de 230 kV) como los armarios, equipos y cableados, necesarios para alimentar de energía eléctrica los receptores del terminal. También dispone de un generador de emergencia diésel para alimentar los servicios críticos del terminal en caso de fallo de las acometidas eléctricas externas.

4.11 ÁREA DE EDIFICIOS

Incluye los siguientes edificios:

- Edificios de oficinas y administración.
- Salas de control.
- Talleres de mantenimiento.
- Edificio de compresores.
- Subestación eléctrica.
- Edificio de control de acceso.

Cada una de las áreas anteriormente mencionadas contará con su red de tuberías y válvulas, así como con la instrumentación necesaria para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación proyectada.

5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El transporte de GNL a la terminal de Granadilla se realizará por medio de barcos metaneros cuya capacidad de almacenaje de gas será de hasta 145 000 m³ de GNL. Para la descarga de los buques metaneros se requerirá una infraestructura portuaria, la cual se diseñará para el atraque y descarga de los buques de mayor capacidad.

El GNL llega en el barco a la temperatura de saturación, -163 °C, y a una presión ligeramente superior a la atmosférica. La descarga se realizará por medio de unos brazos articulados que interconexionarán los tanques del barco con la línea de descarga, que transportará el GNL al tanque de almacenamiento.

Desde los tanques criogénicos en los que se almacenará el GNL se bombeará el mismo a alta presión (80 bar) y se devolverá a fase gaseosa en equipos de intercambio de calor (vaporizadores) antes de alimentar el consumo.

La planta alimentará tanto a la red canaria de gasoductos como a una las industrias ajenas.

Se dispondrá de un sistema de descarga para eliminar de forma segura cualquier exceso de gas producido. La solución base adoptada, será un sistema de venteo.

En la Figura 3 se muestra un esquema simplificado del proceso y equipos principales que formarán parte de la terminal de GNL.

En plano PLOT-003 representa el diagrama de flujo con los procesos que tendrán lugar en una planta de regasificación de GNL, en condiciones de descarga de barco y en operación normal. El plano PLOT-001 muestra la implantación general del terminal.

5.1.1 COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL LICUADO

El terminal estará diseñado para recibir de Argelia principalmente, si bien podrá aceptar gas de otras procedencias.

La revisión de las composiciones de diversas fuentes ha dado lugar al rango de composiciones de diseño para el terminal de Granadilla que se indican en la Tabla 4.

Caso	1	2
Descripción	Ligero/Típico	Pesado/Alto N ₂
Composición en % molar		
Nitrógeno	0,10	1,30
Dióxido de Carbono	0,00	0,01
Metano	98,60	85,86
Etano	1,18	8,40
Propano	0,10	3,00
Iso-butano	0,01	0,60
Normal butano	0,01	0,60
Pentano ⁺	0,00	0,23
Total	100,00	100,00
Peso molecular (g/mol)	16,26	18,86
PCS (kJ/Nm ³)	40 240,00	45 000,00
Peso específico líquido (kp/m ³)	0,42	0,48

Tabla 4: Composiciones de diseño para el GNL importado

5.1.2 PRODUCCIÓN DE GAS

5.1.2.1 Producción de gas

El terminal estará diseñado para los caudales de producción de gas que se indican en la Tabla 5.

Mínimo	75 000 m ³ (n)/h	$6,57 \cdot 10^8$ m ³ /año
Máximo	150 000 m ³ (n)/h	$1,31 \cdot 10^9$ m ³ /año
Punta	225 000 m ³ (n)/h	

Tabla 5: Caudales de regasificación para el diseño de la regasificadora

5.1.2.2 Condiciones de envío

El terminal estará diseñado para producir gas a una presión máxima de 80 barg y temperatura de como mínimo 0°C.

5.2 PROCESO DEL GNL EN LA PLANTA

5.2.1 DESCARGA DE GNL DE BUQUES METANEROS

Las instalaciones propuestas se diseñarán para descargar un solo buque al mismo tiempo.

El GNL se enviará mediante las bombas de los barcos a los tanques situados en el puerto. El GNL se descargará del barco dos brazos de descarga y un brazo híbrido. Este brazo podrá actuar como brazo de retorno de vapor en caso de necesidad. El GNL se transferirá desde los brazos de descarga mediante una sola línea de 36" y otra menor en paralelo de 8", hasta un colector de 36" cerca del tanque de almacenamiento. Estas dimensiones de las tuberías garantizan que, para un ritmo de descarga de 12 000 m³/h de GNL, la velocidad del líquido en las mismas se mantenga en 5 m/s, evitando así la vaporización de parte del líquido en el tubo por efecto del rozamiento con las paredes del mismo.

Durante la operación normal (sin presencia de un buque metanero descargando) una pequeña corriente de GNL de enfriamiento circulará desde los tanques por la línea de recirculación de 8" retornando por la línea de descarga de 36".

Antes de la llegada del buque al terminal, se deberá ajustar la presión en el tanque de almacenamiento hasta una presión ligeramente inferior a la presión del tanque del buque. Con esto se permitirá que, antes de comenzar la operación de descarga, el gas de boil-off del buque circula hacia la terminal a través del brazo de retorno de vapores enfriando la línea de vapor.

Una vez empezada la descarga, el retorno de vapor al barco se hará por la diferencia de presiones entre el tanque y el barco. Durante la descarga del barco la presión en los tanques no excederá de 250 mbarg. El GNL, con una presión de saturación de 175 mbarg, se descargará y el vapor generado se recuperará. Para presiones de saturación más altas, el GNL deberá ser descargado a menor velocidad que la nominal de descarga que permiten los brazos instalados en el pantalán (12 000 m³ GNL/h) para evitar que las válvulas de alivio de los tanques se abran.

La secuencia de descarga prevista es la siguiente:

- Al principio de la operación de descarga, el GNL del barco se empleará para enfriar los brazos de descarga y el equipo auxiliar. Una vez finalizada la operación de puesta en frío, el caudal de bombeo de GNL se irá aumentando hasta la capacidad de diseño (12 000 m³/h). El tiempo transcurrido hasta que se alcanza el caudal de diseño es de unos treinta minutos.
- La operación de descarga continuará hasta que el buque esté casi vacío, reduciéndose el bombeo de GNL. Se ha estimado que en condiciones normales y caudales de 12 000 m³/h, los buques de 145 000 m³ se descargarán en 12 horas aproximadamente.

5.2.2 ALMACENAMIENTO DE GNL

Se instalará un tanque para el almacenamiento de GNL de 150 000 m³ de capacidad útil. El tanque tendrá una presión de diseño de 290 mbarg y unas pérdidas de calor especificadas en 0,05% por día del contenido del tanque basadas en el tanque lleno de GNL. Las conexiones de llenado y vaciado se realizarán por el techo del tanque.

Durante la descarga de un buque, la presión del tanque se mantendrá en 200 mbarg y 250 mbarg. Se ha dado un margen de sobrediseño para poder descargar barcos (con una presión de saturación máxima de 175 mbarg) con presión barométrica menor de la normal. La presión en el tanque de almacenamiento se mantendrá con los compresores de boil-off.

El llenado del tanque se podrá realizar tanto por la parte inferior, mediante un tubo que descienda hasta el fondo del tanque, como por la parte superior por condiciones específicas en el techo del tanque de GNL. Con esto se conseguirá disminuir la estratificación del GNL almacenado y el roll-over. Además, el tanque estará provisto de equipos de recirculación del líquido almacenado para mezclarlo en caso de que se empiece a producir la estratificación.

5.2.3 GANANCIAS DE CALOR

El GNL se almacenará en condiciones de equilibrio (a una temperatura de -163 °C aproximadamente) y una presión ligeramente superior a la atmosférica. El hecho de estar en equilibrio hará que cualquier aportación calorífica al líquido dé lugar al cambio de fase de una parte del mismo. Las causas principales que contribuyen a la vaporización del GNL almacenado son:

- Energía de bombeo de GNL en la fase de descarga del metanero.
- Entradas caloríficas por el aislamiento del depósito y las tuberías.
- Disminución de presión en el espacio vapor del tanque.
- Vaporización súbita durante la descarga (por flash debido a que el GNL descargado tiene una mayor temperatura).

Entre dos descargas de buques consecutivas, las ganancias de calor de las líneas de descarga se eliminarán continuamente mediante la circulación de GNL a través de la línea de 8" y retornando por la línea principal de descarga de 36", antes de entrar al relicuador. Parte del GNL proveniente de las bombas primarias circulará a través de colectores de sendout de la zona de almacenamiento, luego a través de la línea de recirculación hacia el pantalán, retornando al área de almacenamiento a lo largo de la línea de descarga, dirigiéndose hacia el relicuador. Con esto se conseguirá que la ganancia de calor se convierta en calor sensible del GNL.

Las líneas de GNL líquido dispondrán de pequeños by-pass para mantenerlas frías cuando no se usen mediante circulación de un pequeño caudal de GNL.

Durante la descarga de buques, la ganancia de calor en el sistema provendrá del calor de bombeo y de la relación ambiental. La presión de operación en los tanques durante la operación de descarga de buques dependerá en cierta medida de la presión barométrica, es decir, si la presión es menor que la normal, la presión de operación absoluta del tanque deberá disminuir para evitar superar la máxima efectiva de 250 mbarg y viceversa.

5.2.4 MANEJO DEL BOIL-OFF Y VAPORES DESPLAZADOS

El sistema de control de vapores estará formado por:

- Compresores de boil-off y relicuador.
- Sistemas de venteo.
- Válvulas de alivio.
- Válvulas de admisión de gas de red y nitrógeno a la zona de vapor del tanque.
- Válvulas rompedoras de vacío (entrada de aire).

Durante la descarga de barcos, el GNL se bombeará desde el buque, a un caudal máximo de 12 000 m³/h, hacia los tanques de almacenamiento. El boil-off generado en el buque será insuficiente para reemplazar el volumen de líquido extraído, por lo que se deberá reenviar un volumen de gas equivalente desde el tanque de almacenamiento a los tanques del buque. La compensación en los depósitos del metanero del volumen libre dejado por el líquido que se bombea a tierra se hará por medio de la línea de retorno de vapores, que se conectará al barco por el correspondiente brazo de descarga, criogénico, de diseño análogo al de los de líquido. Al comienzo de la descarga de buques, la línea de retorno de vapores podrá estar a temperatura ambiente. El caudal de compensación se

retornará al metanero después de pasar por unas estaciones atemperadoras donde se asegura que el vapor entra al buque a menos de -140°C . Se dispondrá de un recipiente separador en el pantalán para eliminar todo el líquido que quedase aguas abajo del atemperador.

Los compresores de boil-off también podrán emplearse para eliminar los vapores de boil-off de un buque que se encuentre amarrado, pero que por algún motivo no se encuentre en condiciones de descargar el GNL.

El exceso de gas de boil-off, una vez enviado el requerido por la línea de retorno a buques (en caso de que haya descarga), se comprimirá con los compresores de boil-off antes de enviarse al relicuador, donde se condensará con GNL subenfriado, o se consumirá como fuel gas de baja presión. Se instalará un atemperador aguas arriba del recipiente separador de aspiración de los compresores se mantenga en rangos aceptables incluso en operaciones intermitentes del compresor o en caso de caudales de boil-off pequeños. Este atemperador no estará en funcionamiento normalmente. Se instalará un recipiente separador en la aspiración de los compresores de boil-off para separar cualquier líquido que pudiese llevar gas.

Durante la descarga de buques se hará necesario el empleo de dos compresores de boil-off para el manejo del caudal de boil-off generado. Durante la operación normal (sin descarga de buques, caudal de envío mínimo), sólo se empleará uno de los compresores boil-off para manipular los gases de los tanques. Habrá un tercer compresor de boil-off de reserva.

En las operaciones de mínimo envío, la proporción de boil-off generado excederá el espacio de vapor creado en los tanques de GNL como consecuencia de la disminución del nivel de líquido producido por el envío de los tanques. En caudales punta de envío, la extracción de líquido puede ser mayor que el volumen de boil-off generado, haciéndose necesario en este caso retornar el gas de envío al colector de boil-off para mantener la presión en los tanques.

5.2.5 SISTEMA DE VENTEO

Se dispone de un sistema de descarga para eliminar de forma segura cualquier exceso de gas del área de almacenamiento. Los gases producidos a causa de fugas o vaporizaciones instantáneas se eliminarán de forma segura mediante relicuación, utilización como gas combustible o vapor de retorno para los barcos. Solamente como último recurso se dejará escapar a la atmósfera.

El sistema de venteo se compondrá de dos colectores de recogida de descargas de las válvulas de seguridad y venteos. Este sistema estará controlador por presión de forma que cualquier exceso de gas sea vertido en el sistema de venteo antes de abrir las válvulas de seguridad del tanque.

5.2.6 SISTEMA DE ENVÍO DE GNL

La presión de envío a la red se conseguirá a través de las bombas de GNL, trabajando dentro de la planta a una presión ligeramente superior a la de emisión, realizándose la vaporización a presión constante. El bombeo se realizará en dos etapas. La primera, también conocida como bombeo primario, elevará la presión del GNL desde la presión del tanque hasta la presión del relicuador y, la segunda etapa, se realizará con bombas secundarias y aumentará la presión del GNL hasta la presión de trabajo.

El GNL se bombeará desde el tanque de almacenamiento con las bombas primarias de GNL situadas dentro de ellos hacia el relicuador. Cada bomba primaria impulsará un caudal de 125 m³/h de GNL, como se obtiene en los cálculos justificativos. En condiciones de máximo envío, el GNL se bombeará desde el tanque, usando un total de tres bombas y, una más, en reserva.

En el relicuador, el gas de boil-off comprimido se condensará con GNL subenfriado enviado desde el tanque. La relicuación se realizará por motivos de ahorro energéticos, ya que la compresión al nivel del relicuador es menor que al nivel de emisión. El gas boil-off y el GNL entran por la parte superior del relicuador y entran en

contacto, absorbiendo el líquido subenfriado el caudal de gas. El balance de materia energía del relicuador se adjuntan también en los cálculos justificativos.

El GNL del relicuador se dirigirá a las bombas de envío que descargan GNL, aproximadamente a una presión de 75 bar a través de los colectores de envío hacia los vaporizadores. Cada bomba secundaria trasegará un caudal de 130 m³/h de GNL, según los cálculos realizados. En condiciones de máximo envío se empleará un total de dos bombas. Y se usarán tres para condiciones punta, y una cuarta quedará en reserva. Las bombas de envío dispondrán de un colector de recirculación para asegurar el mínimo caudal en cualquier condición. En el caso de que no haya envío de GNL desde el terminal, el GNL se recircula hacia los tanques de almacenamiento.

5.2.7 VAPORIZADORES

El GNL se gasificará en los vaporizadores que operan a 75 bar aproximadamente. El vapor sale de los mismos en 0 °C y 10 °C, con el fin de evitar la presencia de incondensados en el gas emitido a la red.

Habrà dos grupos de vaporizadores, dos vaporizadores de agua de mar y un único vaporizador de combustión sumergida. En condiciones normales se emplearán los vaporizadores de agua de mar, empleando agua de mar como fluido calefactor. Cada uno tiene una capacidad de vaporización de 75 000 m³(n)/h de capacidad, sólo se empleará como reserva cuando alguno de los vaporizadores de agua de mar se encuentre fuera de servicio o cuando se requiera una emisión punta de 225 000 m³(n)/h.

5.2.8 SISTEMA DE FUEL GAS

La red de fuel gas operará a una presión nominal de 9 bar, y suministrará el combustible a los consumidores de fuel gas del terminal, como por ejemplo, el vaporizador de combustión sumergida.

El fuel gas se tomará de la descarga del compresor de boil-off y se complementará con gas de envío según se requiera. El gas de cualquiera de las fuentes

se someterá a una reducción de presión hasta la presión de la red de fuel gas y se recalentará hasta al menos 0 °C en un calentador por aire en circulación natural.

El separador de gotas de fuel gas se encargará de prevenir el arrastre de gotas de hidrocarburos líquidos pesados a la red de fuel gas hacia los consumidores.

5.2.9 SISTEMA DE MEDIDA DE GAS NATURAL

Una vez regasificado, el gas natural se enviará, a través de las estaciones de medida y odorización, a la red de transporte.

6 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LA PLANTA DE REGASIFICACIÓN

6.1 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GNL

6.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Un depósito de almacenamiento está determinado por su forma, sus dimensiones geométricas que fijan el volumen del contenido, su presión y la temperatura del producto almacenado ligada además a supresión por la ley de vapor de saturación.

La forma esférica es la mejor adaptada al aislamiento, pero para capacidades que sobrepasen los 15 000 m³ a 20 000 m³ se recurre a la forma cilíndrica, forma en que se van a diseñar los tanques de almacenamiento de la terminal.

La relación diámetro / altura es frecuente que se aproxime a 2 para disminuir los requisitos portantes exigidos al suelo.

La presión es siempre ligeramente superior a la presión atmosférica de manera que se eviten las entradas de aire que, con el vapor de GNL, provocarían mezclas explosivas; la sobrepresión es del orden de algunas decenas de milibares. En la cadena del GNL (planta de licuación, metanero, terminal de recepción) la presión de almacenamiento del líquido se incrementa cuando se trasiega de un depósito al siguiente. Tiene por finalidad reducir la cantidad de líquido evaporado y en consecuencia los riesgos de pérdida de gas por quemado en la antorcha durante la transferencia debido al calor aportado por las bombas y aportaciones de calor a través de las paredes de las tuberías. La tendencia, dentro de un límite, es a aumentar la presión de servicio de los tanques de las terminales de recepción a fin de disponer de un mayor margen de frente a los metaneros.

La temperatura interna es la correspondiente a la de ebullición del producto; ésta es del orden de -160°C .

El depósito está constituido por dos recipientes separados por un espesor importante de aislamiento. A pesar de este aislamiento, los inevitables aportes de calor provenientes del exterior se traducen en una evaporación del producto a temperatura constante.

La calidad del aislamiento se refleja en la tasa de evaporación (boil-off) expresada generalmente en tanto por ciento por día. La elección de esta tasa resulta de un cálculo económico. Una tasa de evaporación elevada se traduce en un sobredimensionamiento de equipos de recuperación del boil-off (compresores, relicuador), frente al aumento del aislamiento que arrastra un coste más elevado del aislamiento y un mayor volumen del tanque exterior para el mismo volumen útil. En los tanques que se van a instalar en la terminal se estima la ganancia de calor en un 0,05% en peso por día del total de líquido en el tanque basado en metano puro.

Los principales problemas de los tanques de almacenamiento son los siguientes:

6.1.1.1 Problemas mecánicos

En términos de “análisis de importancia”, las diversas funciones de orden mecánico que debe asegurar un depósito son las siguientes:

- Contener el producto (problema de estanqueidad).
- Soportar su peso (problema de cimentaciones).
- Resistir las cargas hidrostáticas del líquido: aquí el problema mecánico se une al problema térmico, pues los materiales utilizados y la tasa de trabajo obtenida deben ser compatibles con la temperatura de funcionamiento.
- Soportar la presión del gas que corona sobre el líquido; esta presión ejerce sobre el techo una fuerza que tiende a levantar la cubierta del depósito (problema de anclaje).
- Resistir a los elementos externos, como por ejemplo el empuje del viento y el peso de la nieve para los depósitos aéreos.
- Resistir los acontecimientos excepcionales (seísmos, caídas de objetos volantes, proyectiles, etc.).

De manera muy general, las cimentaciones están constituidas por una solera de hormigón armado o pretensado de un espesor suficiente para ofrecer una gran rigidez. Esta solera puede estar colocada directamente sobre el suelo si este ofrece una resistencia al asentamiento suficiente. Esta resistencia puede obtenerse desde el principio si el suelo es de buena calidad o bien por medio de precarga del terreno o por compactación dinámica.

La solera puede estar igualmente colocada sobre pilotes hundidos hasta alcanzar suelo resistente, o transmitir la carga por resistencia del fuste de los pilotes cuando el terreno superficial es de mala calidad.

6.1.1.2 Problemas térmicos

Las entradas de calor en un depósito de GNL se realizan por una o varias de las tres modalidades de transmisión de calor: conducción, convección y radiación. En la práctica se tiene:

- La radiación, proporcional a la potencia cuarta de la temperatura absoluta, no juega más que un papel despreciable en los depósitos medianos y grandes.
- La convección juega un papel poco relevante si se tiene la precaución de evitar los movimientos gaseosos del conjunto en el interior del espacio calorifugado (supresión de caminos preferenciales, empleo de juntas contrapuestas si el aislamiento está formado por bloques sólidos, etc.).
- La conducción es la principal modalidad de transmisión de calor, de ahí la importancia de la elección del aislamiento.

La conservación del producto almacenado exige evidentemente reducir la tasa de evaporación en la medida de lo posible, pues si es relativamente elevada, el depósito deberá estar equipado con dispositivos de evacuación del gas evaporado (tuberías, válvulas de alivio, compresores de boil-off, etc.) más importantes.

Sin embargo, la disminución del valor de la tasa de evaporación no se puede hacer económicamente para depósitos por encima de un determinado tamaño (del orden de 200 m³) más que por aumento del espesor del espacio calorifugado, pues los coeficientes de aislamiento prácticos de los aislantes son aproximadamente los mismos cualquiera que sea el producto empleado, siendo función de factores como la temperatura y el gas intersticial.

Este aumento de espesor ocasiona no solamente un incremento del volumen de aislante, sino también el crecimiento de las dimensiones del depósito exterior para un volumen de GNL dado. Hay pues un óptimo económico a alcanzar: por una parte está el

coste del incremento de los medios de recuperación de las evaporaciones y, de otra, el del aumento del espesor del aislamiento.

Una solución a las evaporaciones consiste en su relicuación, lo que representa la ventaja de conservar el stock de GNL y la composición inicial, pero tiene el inconveniente de su elevado coste.

En sentido contrario, para evitar la congelación del terreno debajo de la cimentación del tanque si la solera está apoyada directamente sobre el suelo, es necesario entonces prever, bajo la solera, un sistema de calentamiento eléctrico o hidráulico con el fin de evitar la congelación progresiva del suelo debido a estas frigorías.

En el caso de cimentación pilotada, se coloca la solera sobre los pilotes a una cierta altura por encima del nivel del suelo a fin de permitir la circulación natural del aire y evacuar las frigorías provenientes del fondo del depósito.

6.1.2 CONCEPCIÓN GENERAL

Para poder mantener el gas en el depósito en estado líquido y a baja temperatura, los depósitos se componen de tres elementos principales:

- El recipiente interno, destinado a contener el gas licuado a temperatura criogénica, totalmente aislado y separado por este aislamiento de cualquier contacto con el exterior. Este contenedor primario está constituido por materiales aceptados y comprobados para que puedan trabajar en condiciones criogénicas, teniendo características adecuadas mecánicas y de estanqueidad.

Los materiales que cumplen con estos requisitos, según técnicas establecidas y aceptadas, son básicamente los siguientes:

- El hormigón pretensado.
- La chapa de acero aleado al 9% Ni.

- El aluminio.
- El acero inoxidable.

Para depósitos de grandes dimensiones, el aluminio presenta el inconveniente de tener un coeficiente de contracción muy elevado comparado con los demás materiales citados, a la vez que es un material muy difícilmente soldable. El acero inoxidable, a su vez, tiene un coste muy elevado por lo que estos dos materiales quedan prácticamente descartados para su empleo en muros y fondo.

- El aislante, que rodea totalmente el recipiente interno o contenedor primario, y controla el aporte de calorías del exterior al GNL, disminuyendo por tanto la evaporación.
- El recipiente externo, que sirve para contener el aislante antes descrito, y es estanco a los vapores de GNL, estando normalmente a temperatura ambiente. Este recipiente incorpora funciones de contenedor secundario en caso de rotura del tanque interior, y se proyecta con fuertes requisitos de seguridad incorporando a las funciones de contenedor secundario las de protección frente a derrames de GNL procedentes de depósitos adyacentes, radiaciones térmicas debidas a fuego externo o interno, explosiones o impactos de elementos de sabotaje, aviación, etc.

Tipología de los distintos tanques de almacenamiento

En una primera clasificación los tanques de almacenamiento pueden agruparse en dos grandes grupos:

- Depósitos aéreos
- Depósitos bajo el nivel del suelo

Los depósitos aéreos han tenido un gran desarrollo tanto en las plantas de licuación como en las terminales de recepción, almacenamiento y regasificación. Estos depósitos aéreos son los que se van a instalar en la terminal objeto del presente proyecto.

Los depósitos enterrados y semi-enterrados presentan a su vez un alto componente de seguridad y son muy apreciados desde el punto de vista medioambiental al pasar desapercibidos a la observación visual. Asimismo permiten un mejor aprovechamiento del terreno reduciendo las distancias entre tanques.

Las principales variantes en la concepción de los depósitos son las siguientes:

- Depósitos aéreos a presión atmosférica con recipiente interno “autoportante”.
- Depósitos aéreos con recipiente interno integrado tipo “membrana”.
- Depósitos enterrados o semi-enterrados.
- Depósitos subterráneos en terreno helado.
- Depósitos aéreos bajo presión.

Las dos primeras variantes son con mucho las más extendidas, siendo la primera, depósitos aéreos a presión atmosférica con recipiente interno autoportante la que se va a construir en la planta de regasificación.

Estos depósitos aéreos a presión atmosférica cuentan con un recipiente interno autoportante, es decir, capaz de contener la carga hidrostática del GNL, y un recipiente externo metálico o de hormigón armado y pretensado.

Siguiendo la denominación de la norma EN 14620 [1], estos depósitos pueden clasificarse a su vez en:

- Tanques de contención simple.
- Tanques de doble contención.
- Tanques de contención total.

En la Tabla 6 se resumen las principales características de los distintos tipos de tanques:

	Contención simple	Contención doble	Contención total	Membrana In-ground	Hormigón-hormigón
Factor de coste	0,65	0,9	1	2	0,8-0,9
Plazo de ejecución (meses)	22 a 26	30 a 33	33 a 37	42 a 48	28 a 32
Distancia mínima entre tanques	2,5 d	1,6 d a 1,75 d	1,5 d	1,5 d	1,5 d
Presión de diseño Límite superior	160 mbar	190 mbar	210/290 mbar	300 mbar	300 mbar
Tasa de boil-off % volumen/día	0,05	0,05	0,05	0,1	0,05

Tabla 6: Características de los distintos tipos de tanques de almacenamiento

La decisión de utilizar tanques de contención simple, doble o total está condicionada por los códigos y normas aplicables en cada país y se basa en razones de coste, disponibilidad de terreno y consideraciones de seguridad.

El tanque que se va a construir en la terminal será de contención total. Un tanque de contención total consiste en un contenedor primario y un contenedor secundario, que juntos forman un sistema integrado de almacenamiento. El contenedor primario será un tanque cilíndrico de acero cuya envolvente contiene el producto en estado líquido.

Este contenedor primario deberá bien ser abierto por su parte superior, en cuyo caso no contendría los vapores del producto almacenado, o bien ser equipado con su propia cúpula de tal modo que se puedan contener los vapores de producto.

El contenedor secundario deberá ser autoportante, de hormigón o de acero, disponer de su propia cúpula y ser diseñado para combinar las siguientes funciones:

- En servicio normal del tanque: servir de sistema primario de contención de vapores (en caso de que el contenedor primario sea abierto por su parte superior) y servir también de soporte del aislamiento térmico del contenedor primario.
- En caso de fuga del contenedor primario: contener todo el producto líquido y permanecer estructuralmente estanco a los vapores, permitiendo su alivio controlado por medio de los sistemas de seguridad instalados en la cúpula exterior del tanque (válvulas de alivio).

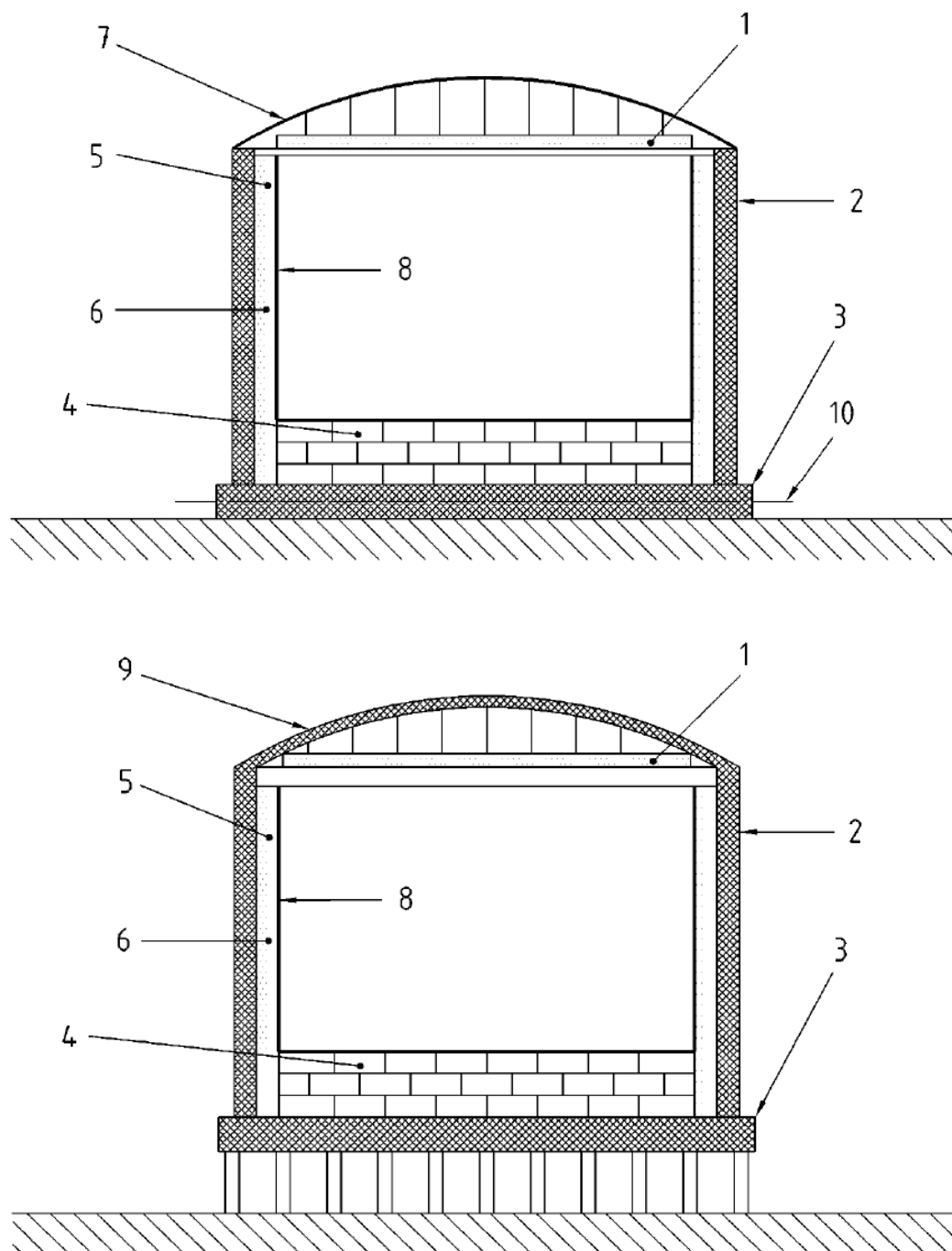
El recipiente secundario puede estar situado a una distancia de 1 m a 2 m del recipiente primario. El espacio anular entre el contenedor primario y el secundario no excederá los 2 m.

Como se ha dicho anteriormente, los tanques de almacenamiento de GNL a construir en la terminal son tanques de contención total. Estos depósitos serán pues tanques diseñados y contruidos de tal manera que tanto el recipiente primario autoportante como el recipiente secundario sean capaces de contener independientemente el líquido refrigerado almacenado y para uno de ellos, su vapor.

El recipiente primario contiene el líquido refrigerado en condiciones de trabajo normales. El techo exterior va soportado por el recipiente secundario. El recipiente secundario debe ser capaz tanto de retener el líquido refrigerado como de controlar el venteo del vapor resultante de las fugas de producto, después de un evento verosímil.

En la Figura 4 podemos observar las distintas partes de un tanque de almacenamiento simple.

Figura 4: Partes de un tanque de almacenamiento de contención simple (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)



Leyenda

- | | | | |
|---|-----------------------------------------------------------|----|----------------------------------------|
| 1 | Techo suspendido (aislado) | 6 | Relleno de aislante ajustable |
| 2 | Cuba secundaria de hormigón pretensado | 7 | Techo metálico exterior |
| 3 | Losa de hormigón | 8 | Cuba primaria |
| 4 | Aislamiento de la base | 9 | Techo de hormigón armado |
| 5 | Aislamiento sobre la parte interior de la cuba secundaria | 10 | Elemento de calentamiento de la solera |

6.1.3 PRINCIPIOS DE DISEÑO

Requisitos generales

Los equipos cuya presión de diseño sea superior a 500 mbar deben cumplir los requisitos de las normas o de los códigos aplicables utilizados para el diseño de cada tipo de depósitos a presión.

Los tanques metálicos cilíndricos para GNL, los tanques cilíndricos de hormigón criogénico y los tanques esféricos para GNL se deben diseñar de acuerdo con los requisitos de las normas o códigos aplicables. Deben cumplir todos los requisitos relativos al almacenamiento de GNL de la norma europea EN 14620 [1].

En los depósitos de GNL que se utilizan habitualmente en los metaneros (Código IMO), se utilizan corrientemente tanques esféricos para GNL, y ese mismo principio de diseño se puede utilizar para tanques de almacenaje situados en tierra.

Los depósitos de GNL deben estar diseñados para:

- Contener el líquido a temperaturas criogénicas con total seguridad.
- Permitir el llenado y el vaciado de GNL con total seguridad.
- Permitir evacuar con seguridad los gases evaporados.
- Impedir la entrada de aire y humedad excepto como último recurso para evitar unas condiciones de vacío inaceptables en la cámara de vapor.
- Reducir al mínimo las pérdidas térmicas, conforme a los requisitos de trabajo e impidiendo el hinchamiento del terreno debido al hielo.

- Resistir los daños que den lugar a la pérdida de retención debido a factores externos verosímiles.
- Operar con seguridad entre las presiones de diseño máxima y mínima (vacío).
- Resistir el número de ciclos de llenado y vaciado y el número de operaciones de enfriamiento y calentamiento que estén previstas durante su vida de diseño.

Estanquidad a los fluidos

Los depósitos deben ser estancos a los gases y a los líquidos durante su funcionamiento normal.

El grado de resistencia a las fugas que se requiere en el caso de sobrecargas exteriores tales como daño por impacto, radiación térmica y explosiones, se debe definir en la evaluación de riesgos.

La estanquidad al GNL en el contenedor primario debe quedar asegurada mediante una chapa con soldadura continua, una membrana o mediante un hormigón criogénico pretensado con refuerzo criogénico.

La estanquidad al GNL en el contenedor secundario debe quedar asegurada por medio de:

- Plancha con soldadura continua.
- Hormigón con revestimiento.
- Tierra o arena compactada siempre que se garantice la estanquidad al GNL.

- Otros materiales adecuados acreditados.

La envolvente exterior del tanque que está expuesta a la atmósfera (sea metálica o de hormigón), debe estar diseñada de forma que impida cualquier penetración de agua, tanto si se trata de agua superficial, de agua procedente de los sistemas contra incendios, de agua de lluvia o de la humedad atmosférica. La humedad podría provocar algunos problemas de corrosión, el deterioro del aislamiento y el del hormigón.

Para contener los líquidos en caso de fugas de GNL, se deberán cumplir los siguientes requisitos para el contenedor secundario:

- En los tanques de doble contención y contención total, en los que el recipiente secundario es metálico, éste debe ser de calidad criogénico.
- En los casos de que el recipiente secundario esté fabricado en hormigón pretensado, la temperatura de los cables de pretensado debe ser compatible con la resistencia de la altura de carga hidrostática máxima. Para el cálculo debe suponerse que la temperatura del GNL se aplica directamente sobre la cara interior, incluyendo el aislamiento si lo hay.

Para un contenedor secundario de hormigón con una junta rígida fondo/pared, se debe prever un sistema de protección térmica para evitar una fisuración incontrolada en la zona de unión.

Para la estanquidad al GNL, se dispone un forro o liner de acero al carbono, ya que el hormigón es estanco al GNL, pero no al vapor.

Conexiones del depósito

Las conexiones exteriores se deben diseñar de forma que puedan resistir las cargas impuestas por las tuberías exteriores e interiores, si existen.

Las tuberías de transporte de fluido y gas que penetran en el interior del contenedor, deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Las penetraciones no deben dar lugar a que aumente excesivamente la aportación de calor.
- En aquellos casos en que las penetraciones estén sujetas a fenómenos de contracción y dilatación térmica que puedan ser rápidos, las conexiones internas se deben reforzar en caso necesario y las conexiones exteriores se deben diseñar de forma que transmitan las cargas de las tuberías exteriores a un sistema compensador de la dilatación térmica.
- No debe haber penetraciones de las paredes o de la base del depósito primario y secundario. No se recomienda el uso de tubos de rebose. Si es inevitable utilizar tubos de rebose, el riesgo adicional correspondiente se debe incluir en la evaluación de riesgos.
- Si es preciso, se debe prever conexiones para nitrógeno en el espacio anular entre el tanque interior y el contenedor exterior con el fin de permitir purgar el aire antes de la puesta en marcha y purgar el GNL después del vaciado para realizar trabajos de mantenimiento.

La ausencia de penetraciones a través de las paredes o en el fondo, obliga a utilizar bombas sumergidas. En el techo del depósito se deben instalar una plataforma y un equipo de elevación apropiado que permita retirar las bombas para su mantenimiento.

El diseño debe impedir cualquier efecto sifón.

Aislamiento térmico

Los materiales utilizados para el aislamiento térmico, se deberían elegir entre los que están definidos en la Norma EN 1160 [2].

El propietario debe especificar la conductividad térmica mínima de los materiales aislantes.

Los sistemas de aislamiento que se instalen deben estar exentos de cualquier contaminante que pueda corroer o deteriorar de alguna otra forma los componentes sujetos a presión con los cuales vayan a estar en contacto.

Debajo de la base del depósito primario, se instala el aislamiento básico para reducir la transmisión de calor procedente de la cimentación y de forma que se pueda reducir al mínimo la necesidad de calentar el terreno si fuera preciso para evitar el hinchamiento del terreno debido a las heladas.

El aislamiento de la base se debe diseñar y especificar de forma que sea capaz de soportar cualquier clase de combinaciones de acciones definidas en la Norma EN 14620 [1].

Si se utiliza el aislamiento en el espacio intermedio de los tanques de contención total, quedará expuesto al gas evaporado.

Debe tenerse en cuenta la dilatación térmica de los componentes, por lo tanto el aislamiento instalado fuera del contenedor primario, si es de perlita expandida, se puede proteger contra el asentamiento por ejemplo, mediante un acolchado de lana de vidrio que absorba las variaciones de diámetro del contenedor primario.

El aislamiento exterior debe protegerse contra la humedad mediante un revestimiento y la instalación de sellado de vapor.

El aislamiento que queda al descubierto debe ser no combustible.

La calidad del aislamiento debe ser tal que ningún punto singular de la envolvente exterior del tanque se encuentre a una temperatura inferior a 0 °C para una temperatura ambiente superior o igual a 5 °C. Para los cálculos del espesor del aislante se deben tener en cuenta las condiciones correspondientes (atmosféricas, del suelo, de

diseño, etc.). Si no se dispone de ninguna información relativa a las condiciones atmosféricas se pueden utilizar las siguientes:

En el caso de tanques de almacenaje situados por encima del nivel del terreno:

- viento de 0 m/s,
- temperatura atmosférica de 5 °C.

En caso de tanques de almacenaje enterrados:

- para el techo, igual que los anteriores.
- para la pared, con un sistema de calefacción para tener en cuenta la degradación del aislamiento con el fin de evitar las heladas.

Tensiones debidas a la explotación

Los tanques de GNL deben ser capaces de soportar las combinaciones de acciones que se definen en la Norma EN 14620 [1] y las resultantes de las variaciones de presión y temperatura durante:

- El enfriamiento inicial y el calentamiento hasta la temperatura ambiente.
- Los ciclos de llenado y vaciado.

El fabricante debe indicar la velocidad máxima de variación de temperatura que pueda soportar el tanque durante las operaciones de calentamiento y enfriamiento

Para los tanques de doble contención y de contención total el contenedor primario debe diseñarse de forma que soporte la máxima presión diferencial que pueda aparecer durante todas las fases de la explotación y se debe prever un sistema que impida que se pueda levantar el piso.

Reglas generales para el diseño

Las estructuras del tanque se deben diseñar de forma que puedan soportar por lo menos la combinación de las acciones definidas en la Norma EN 14620 [1].

Además los elementos estructurales y las estructuras deben:

- Conservar sus características en las condiciones normales, en lo que se refiere a degradación, desplazamiento, asentamiento y vibraciones.
- Presentar una seguridad adecuada con respecto a la resistencia a los fallos por fatiga.
- Presentar unas características óptimas de ductilidad y poca sensibilidad a daños locales.
- Ser de fabricación sencilla.
- Proporcionar unas vías de tensión sencillas con escasas concentraciones de tensiones.
- Ser adecuadas para un control de estado, mantenimiento y reparación sencillos.

Las armaduras para el hormigón reforzado o pretensado se deben diseñar de forma que se evite cualquier daño de los áridos del hormigón durante la vida del tanque.

Los materiales elegidos para las estructuras portantes de carga deben ser adecuados para este fin. Se debe documentar la calidad de los materiales.

Los requisitos relativos a la fabricación, ensayo y control se deben determinar basándose en la importancia que tengan las diversas partes con respecto a la seguridad general de la estructura.

Cimentaciones

Las cimentaciones se deben diseñar para evitar cualquier asentamiento diferencial superior al límite admisible para la solera.

Se debe llevar a cabo un estudio de las características térmicas para la cimentación y para el suelo con el fin de asegurarse de que se evita el gelilevantamiento del terreno. Si no se puede impedir el gelilevantamiento, se debe instalar un sistema de calefacción. El sistema de calefacción se debe poder sustituir y reparar sin necesidad de poner fuera de servicio el tanque. Se requiere una redundancia 100% para el sistema de calefacción.

El análisis sísmológico y el análisis geotécnico de la naturaleza del terreno debe definir los criterios para el diseño de la cimentación.

Puede ser necesario disponer apoyos anti-vibratorios, con el fin de reducir las operaciones de un terremoto. Estos se deben poder sustituir sin tener que poner fuera de servicio el tanque.

La solera puede ser de tipo elevado, descansando sobre el terreno, semi-enterrada o enterrada.

Cuando se trate de una solera elevada, el espacio dejado debe ser suficientemente grande para permitir la circulación natural del aire que mantenga la cara inferior de la solera a una temperatura que no debe ser inferior en más de 5 °C a la temperatura ambiente. Se deben instalar detectores de gas en este espacio inferior para controlar la existencia o acumulación de gas en caso de fuga. Se debe evaluar y reducir la sobrepresión debida a la ignición de mezclas inflamables.

Instrumentos para la operación

Generalidades

Para la puesta en marcha, explotación y puesta fuera de servicio segura del tanque se requiere instrumentación suficiente. Esta instrumentación deberá incluir, como mínimo, los siguientes elementos:

- Indicadores del nivel de líquido y/o controles.
- Indicadores de presión y/o presostatos.
- Indicadores de temperatura y/o termostatos.
- Densímetros.

En general, se deberá asegurar la fiabilidad de estas medidas mediante las siguientes disposiciones mínimas:

- Siempre que sea posible la instrumentación debe poder ser mantenida durante el funcionamiento normal del tanque.
- La instrumentación relacionada con la seguridad y la explotación, para cuyo mantenimiento sea necesario poner fuera de servicio el tanque, debe tener la suficiente redundancia.
- Los detectores de umbral que cumplan una función de seguridad, (presión, nivel del GNL, etc.) deben ser independientes de la secuencia de medición.
- Las medidas se deben transmitir a la sala de control.
- Las alarmas se deben transmitir directamente al operador designado.

Nivel de líquido

Se recomienda utilizar dispositivos de medición de nivel independientes y de alta precisión como medio de protección contra el rebose, prefiriéndolos a tubos de rebosadero.

El tanque se debe equipar con instrumentos que permitan vigilar el nivel del GNL y que permitan tomar medidas protectoras. Estos instrumentos deben permitir especialmente:

- La medición continua del nivel de líquido mediante, como mínimo, dos sistemas independientes de fiabilidad apropiada; cada uno de estos sistemas debe incluir alarmas de nivel alto y alarmas de nivel muy alto.
- La detección de muy alto nivel, se debe basar en una instrumentación de fiabilidad adecuada, que sea independiente de la medición continua de nivel antes mencionada. La detección, en caso de que se active, debe iniciar la función del sistema ESD para las bombas de alimentación y las válvulas de las tuberías de alimentación y recirculación.

Presión

El tanque se debe equipar con instrumentos instalados de forma permanente y situados en lugares adecuados que permitan controlar la presión como se indica a continuación:

- Medición continua de la presión.
- Detección de la presión “muy elevada” mediante una instrumentación independiente de los sistemas de medición continua.
- Detección de la presión “muy baja” (vacío) mediante una instrumentación que sea independiente de los sistemas de la medición continua. Después de detectar el vacío, se debe activar la parada de los

compresores de los gases de evaporación y de las bombas, y en caso necesario, se deben inyectar bajo control automático un gas para romper el vacío.

- Si el espacio aislado no está en comunicación con el recipiente interior, se deben instalar unos sensores de presión diferencial entre el espacio del aislamiento y el recipiente interior, o unos sensores de presión independientes en el espacio del aislamiento.

Con el fin de ahorrar energía se recomienda, para reducir la evaporación, que en el interior del tanque se mantenga una presión absoluta constante.

Temperatura

El tanque debe equiparse con unos instrumentos instalados de forma permanente y situados en lugar adecuado que permitan vigilar la temperatura como se indica a continuación:

- La temperatura del líquido se debe medir a diferentes profundidades. La distancia vertical entre dos sondas de temperaturas consecutivas no debe ser superior a 2 m.
- La temperatura de la fase gaseosa.
- La temperatura de la pared y del fondo del recipiente primario.
- La temperatura de la pared y del fondo del recipiente secundario (salvo si el contenedor secundario es un cubeto de retención).

Densidad

La densidad del GNL se debe vigilar a lo largo de toda la profundidad del líquido.

Protección contra las sobrepresiones y depresiones

En el apartado 18 se definen los diversos caudales de referencia de las descargas gaseosas que se deben tener en cuenta para dimensionar el circuito de evaporación de cada depósito, así como las válvulas de seguridad de sobrepresión. Son aplicables para cada uno de los tanques considerado individualmente. Debe haber suficiente margen de seguridad entre la presión de operación y la presión de diseño del tanque con el fin de evitar venteos innecesarios.

Descarga del gas evaporado

Con independencia de los medios utilizados para la recuperación de los gases de evaporación que puedan existir en otros lugares (por ejemplo, relicuación, compresión), el espacio de vapor del tanque se debe conectar a la red de antorchas o venteos, a las válvulas de seguridad de sobrepresión, o eventualmente a un disco de rotura que sea capaz de descargar cualquier posible combinación de los caudales de gas siguientes debidos a:

- La evaporación resultante de la aportación de calor en los depósitos, los equipos y las tuberías de recirculación.
- El desplazamiento del nivel de líquido debido al llenado, al caudal máximo posible o al retorno de gas del metanero durante la carga.
- Una vaporación instantánea (flash) durante el llenado.
- Las variaciones de la presión atmosférica.
- GNL vaporizado en los desrrecalentadores.
- La recirculación procedente de una bomba sumergida.
- El movimiento basculante (roll-over).

Válvulas de seguridad de sobrepresión

El tanque se debe equipar como mínimo con dos válvulas de sobrepresión que descarguen directamente a la atmósfera, salvo en aquellos casos en los que una emisión de vapor en un caso de emergencia dé lugar a situaciones indeseables. En este caso las válvulas deben conectarse a la red de la antorcha o al sistema de venteo. Las válvulas se deben dimensionar partiendo de la hipótesis de que una de ellas esté fuera de servicio. El caudal máximo a descargar a la presión de trabajo máxima será o bien el caudal de gas debido a la aportación de calor en el caso de un incendio o una combinación probable de los caudales siguientes debido a:

- Evaporación debida a la aportación de calor.
- Desplazamiento debido al llenado.
- Vaporización instantánea (flash) durante el llenado.
- Variaciones de presión atmosférica.
- La recirculación procedente de una bomba sumergida.
- El fallo de una o varias válvulas de control.
- La inversión (roll-over) en el caso de que no se prevea ningún otro dispositivo.

Disco de rotura

Si el cálculo de la válvulas de sobrepresión del sistema de antorcha/venteo no tiene en cuenta la inversión (roll-over), se debe instalar un disco de rotura o equivalente, cualesquiera que sean las demás medidas adoptadas (por ejemplo, políticas de gestión de stock, diversas líneas de llenado).

Se puede utilizar un disco de rotura para proteger el tanque contra sobrepresión. Este dispositivo que se considera como último recurso permite conservar la integridad

del tanque sin interrumpir el funcionamiento de la planta, sacrificando de forma pasajera la estanqueidad del gas.

El disco de rotura se debe diseñar de forma que:

- Se pueda sustituir durante el funcionamiento después del fallo.
- Los fragmentos no caigan al interior del tanque.
- Los fragmentos no causen daños en otras partes del tanque

La rotura del disco debe dar lugar a que los compresores de gas evaporado se disparen automáticamente.

Se deben prever medios para verificar la integridad del disco.

Válvulas de vacío

Debe impedirse que el tanque adquiera presión negativa, más allá del límite admisible, parando a tiempo de forma automática las bombas y los compresores, por inyección de gas o de nitrógeno y mediante válvulas de rotura del vacío que permiten la entrada de aire.

Esta entrada de aire puede originar una mezcla inflamable, por lo que las válvulas de rotura del vacío deben actuar únicamente como último recurso con el fin de evitar deterioros permanentes en el depósito.

Sistema de inyección de gas

El sistema de inyección de gas o nitrógeno debe actuar en primer lugar. Se puede inyectar el gas automáticamente cuando se detecta una presión de gas baja.

Válvulas de rotura del vacío

El depósito debe estar provisto con válvulas de seguridad de rotura del vacío, más una instalada de reserva. El caudal de entrada, con la presión negativa máxima, debe ser igual al 110% del caudal necesario para evitar cualquier combinación posible de depresiones debidas a:

- La variación de presión atmosférica.
- La aspiración de las bombas.
- La aspiración de los compresores de gas de evaporación.
- La inyección de GNL en el espacio de vapor.

Equipos de seguridad

- Dispositivos contra el movimiento basculante (“roll-over”)

Con el fin de evitar el movimiento basculante (roll-over) se debe tomar, como mínimo, las medidas siguientes:

- Dispositivos de llenado del depósito.
- Un sistema de recirculación.
- Control de la velocidad de evaporación.
- Medición de la temperatura y de la densidad en toda la profundidad del líquido.

Pueden utilizarse otras medidas de carácter preventivo tales como:

- Evitar el almacenamiento en un mismo tanque de GNL de calidades muy diferentes.

- Aplicar los procedimientos de llenado adecuados, que tenga en cuenta las densidades respectivas del GNL.
- Tomar precauciones específicas para el GNL con un contenido de nitrógeno superior a 1% molar.
- Practicar una rotación periódica del almacenamiento del depósito e impedir el estancamiento del GNL.

Estas medidas dan lugar a que se elimine prácticamente la estratificación del GNL.

El diseño del depósito se puede basar en programas informáticos validados de simulación del comportamiento del depósito de GNL que integren las fases de llenado y de vaciado. Permiten prever los sucesos de estratificación, estimar las consecuencias y evaluar los medios para evitarlos o eliminarlos.

- Protección contra los rayos

Los depósitos deben estar protegidos contra los rayos.

- Fiabilidad

Los tanques de GNL son estructuras que deben tener un alto nivel de fiabilidad. Esto exige un diseño que asegure que los cambios del estado estructural del tanque sean lentos y limitados por una parte, y que por otra permita vigilar los parámetros representativos de esta situación.

El nivel de fiabilidad que es necesario alcanzar, puede dar lugar a la duplicación de determinados componentes de la estructura: el concepto de doble barrera hidráulica (contenedor primario y después contenedor secundario) forma parte de este tipo de duplicación.

- Control de la estructura

Los dispositivos para controlar el estado general de la estructura, incluyendo la cimentación, se deben diseñar de forma que dejen suficiente tiempo para la intervención en caso de que se detecte alguna anomalía.

Los valores controlados deben interpretarse con respecto a unos valores previamente definidos:

- Valores normales.
- Valores de alarma.
- Valores críticos.

A continuación se indican los parámetros que se consideran representativos del estado general de la estructura.

- Sensores de temperatura

Se deben considerar tres conjuntos de sensores de temperatura:

- En la superficie exterior de las paredes y del fondo del contenedor primario, con el fin de vigilar el enfriamiento y calentamiento, excepto en el caso de los tanques de membrana.
- Por la cara caliente del aislante (pared y fondo) con el fin de detectar cualquier fuga y vigilar el deterioro del aislamiento, debido por ejemplo, a acumulaciones.
- Sobre la superficie exterior de la solera de hormigón o en los soportes de los depósitos de cualquier tipo para controlar el gradiente de temperatura.
- Sobre la superficie exterior del muro de hormigón de los tanques de contención total y/o de los tanques de membrana.

Los datos obtenidos en todos los sensores se deben registrar en la sala de control, y cualquier confirmación de fugas debe hacer sonar la alarma. La cobertura de los sensores debe ser la suficiente para asegurar que se detecta cualquier fuga y que se vigila el gradiente de temperatura.

- Control del sistema de calefacción

En el caso de tanques que dispongan de sistema de calefacción se debe registrar de forma continua la temperatura y el consumo de energía del sistema.

- Control del asentamiento

Si las características del subsuelo local son deficientes se recomienda controlar el asentamiento de la cimentación durante las pruebas hidráulicas y también durante la operación.

- Detección de fugas del contenedor primario

En todos aquellos tanques en que el espacio del aislamiento no esté en comunicación con el contenedor primario se debe disponer de un sistema para la circulación de nitrógeno dentro del espacio de aislamiento. En este caso se puede controlar la estanqueidad del contenedor primario mediante la detección de hidrocarburos en la purga de nitrógeno.

- Detección de fugas exteriores al depósito y de fuego.

Tuberías del tanque

Tubería de enfriamiento

Se debe disponer de un sistema de enfriamiento para evitar que el líquido frío caiga sobre el fondo de un tanque caliente. Este sistema puede terminar por ejemplo en una boquilla de rociado o en un anillo perforado.

Tubería de llenado.

El llenado debe poder efectuarse en función de la calidad del GNL, bien desde el techo o por la parte inferior mediante una tubería que vaya hasta el fondo del tanque.

La conexión de llenado inferior se debe suministrar con un dispositivo que permita la mezcla del contenido del depósito. Por lo tanto, para el llenado por el fondo se debe disponer por lo menos de uno de los dispositivos siguientes:

- Boquillas de chorro situadas en el fondo del tanque y orientadas hacia la superficie.
- Un tubo vertical perforado en una parte o la totalidad de su longitud.
- Un fragmentador del chorro situado en el extremo de un tubo para llenado por rociado.

Distancia entre depósitos

La distancia entre depósitos se debe determinar de acuerdo con la evaluación de peligros definida en la Norma EN 1473 [3] pero debe ser superior o igual a los criterios mínimos indicados en esa misma norma.

Bombeo del GNL

El trasvase de GNL desde el tanque en la recirculación del GNL, se debe hacer por medio de bombas sumergidas de accionamiento eléctrico.

Rebose

El tubo de rebose, si se contempla como último recurso y es autorizado por la evaluación de riesgos, debe tener las dimensiones adecuadas para un caudal correspondiente al caudal máximo de las bombas de llenado. El tubo del rebosadero cruza la pared lateral del contenedor primario a una altura por lo menos igual al nivel de la alarma de nivel muy alto. Debe equiparse en la base con uno o más discos de rotura

con una presión de rotura determinada por la altura de carga hidrostática del líquido en el tubo del rebosadero. Una o más válvulas deben permitir el mantenimiento del disco o discos sin que haya escape de gas. Una alarma de temperatura debe detectar la presencia de líquido en la parte inferior del tubo rebosadero.

El diseño de este tubo debe tener en cuenta los movimientos debidos a las temperaturas diferenciales entre las dos paredes.

Puesta en servicio y puesta fuera de servicio

Los dispositivos que se vayan a utilizar para las operaciones de puesta en servicio y puesta fuera de servicio se deben definir durante la fase de diseño:

- Los circuitos de drenaje se deben diseñar de forma tal que permitan el inertizado y secado completo, especialmente del espacio de aislamiento. Se deben prever los dispositivos necesarios para la toma de muestras destinadas a vigilar los parámetros.
- En el caso de que el aislamiento esté directamente en contacto con el volumen de gas del tanque se deben prever los elementos necesarios para purgar e inertizar este espacio.
- El contenedor primario autoportante debe equiparse con un número suficiente de sensores de temperatura con el fin de tener un control preciso de los gradientes, en el espacio y en el tiempo.
- Deben disponerse dispositivos de equilibrado para proteger el contenedor primario contra presiones negativas excesivas. La presión diferencial real debe vigilarse durante la puesta en servicio y la puesta fuera de servicio.

6.1.4 FUNCIONAMIENTO CON EL TANQUE EN MODO DE OPERACIÓN DE PLANTA

Operación sin emisión de gas ni descarga de buques

En estas condiciones se mantendrá una bomba primaria en marcha recirculando GNL por los distintos circuitos de la planta, para el mantenimiento en frío de la terminal.

Las entradas de calor a través de las líneas de recirculación y en el propio tanque de almacenamiento producirán una cierta vaporización del GNL. Al no haber emisión no podrá condensarse el boil-off y lo que no se consuma en fuel-gas se quemará en la antorcha.

Durante este tipo de operación debe vigilarse con especial cuidado las siguientes variables:

- Presión en el tanque.

La presión en el tanque subirá pudiendo llegar al punto de consigna del PIC, abriendo las PV para enviar el gas a la antorcha.

- Temperatura en el tanque.

- Densidad del GNL

La estratificación puede producir fenómenos de roll-over.

Emisión de gas sin descarga de barcos

Puede considerarse como el modo de operación más habitual en la terminal. En este modo de operación deberá vigilarse las siguientes variables:

- Presión en el tanque.

Ésta se mantendrá entre los límites de presión máxima y mínima de operación.

- Nivel de GNL.

Los caudales de emisión de gas deben planearse por adelantado basándose en las entregas de GNL previstas, de forma que siempre se tenga un stock de GNL adecuado en el tanque, para mantener el sistema de recirculación en operación y evitar el calentamiento de las distintas líneas de la planta.

Por muy bajo nivel de GNL, se produce el paro de sus bombas sumergidas.

- Temperatura en el tanque.
- Densidad del GNL.

Descarga de barco con emisión

Acciones a realizar antes de la descarga

- Temperatura.

Antes de comenzar la descarga de un barco, hay que comprobar que existe espacio de vapor frío en el tanque. Este hecho reduce la posibilidad de provocar vacío durante los primeros minutos de la descarga de barco. Normalmente, el espacio de vapor está frío debido al propio caudal de boil-off hacia compresores y a las recirculaciones de GNL hacia tanque.

- Densidad.

La densidad del GNL en el barco comparada con la densidad del GNL en el tanque de almacenamiento (en el cual se vaya a realizar la descarga) determinará si se utilizará la línea de llenado de fondo o la de la parte superior. Así si se introduce GNL de densidad superior procedente del barco al tanque, se realizan por la línea de llenado superior. Por el contrario, si la densidad del GNL del barco es inferior a la del tanque, se realizará la carga por la línea de llenado

inferior. Este procedimiento facilita la mezcla de los GNL y evita la estratificación de densidades en el almacenamiento.

- Presión.

Si se conociera con anterioridad a la llegada del barco de algún problema por el que éste no pudiera deshacerse de su boil-off, convendría llevar la presión en el tanque ligeramente por debajo de la presión del barco, de esta forma éste podría enviar su boil-off al terminal a través del brazo de vapor antes de iniciar la operación de descarga.

Si el problema ocurriera una vez que haya atracado, habría que enviar su gas de "boil-off" directamente a la antorcha.

Acciones a realizar durante la descarga

- Presión.

Durante la descarga de barcos las entradas de calor al sistema se incrementan debido al calor de bombeo.

En este modo de operación, el control de la presión en tanques adquiere especial importancia, debido a que por muy alta presión (260 mbar) la descarga del barco se bloquearía. Para evitar esto, situaremos el punto de consigna del PIC por debajo de la máxima presión de operación (250 mbar). Disponemos además, para controlar la presión en el tanque, de los compresores de boil-off. En función de la presión en el tanque y de los caudales de emisión, decidiremos la cantidad de boil-off a relicuar para mantener la presión por debajo del punto de consigna del PIC.

- Nivel.

Las alarmas de muy alto nivel provocan la parada de la descarga.

Acciones a realizar después de la descarga

- Densidad.

Comprobar si existen estratificaciones en el GNL, para en caso afirmativo mezclar las capas inferior y superior lo antes posible.

6.1.5 DESCRIPCIÓN DE LOS DEPÓSITOS AÉREOS CON RECIPIENTE INTERNO AUTOPORTANTE

En este tipo de depósitos el recipiente interno es de una concepción idéntica a la de cualquier depósito para almacenamiento de líquido, es decir, debe ser estanco, soportar el peso del líquido, su presión hidrostática y eventualmente un posible vacío.

El recipiente externo rodea completamente al recipiente interno; es igualmente estanco y puede resistir, en caso de incidente en el recipiente interno, el peso y las presiones del líquido.

Los dos recipientes están separados por el espacio en el que se instala el aislante y todo el conjunto reposa sobre una losa de hormigón, eventualmente cimentada sobre pilotes.

Recipiente interno en acero aleado resistente a bajas temperaturas

La pared está construida por un número de virolas cuyo espesor crece desde arriba hacia abajo, para asegurar una tasa de trabajo del metal sensiblemente constante. El fondo está constituido por placas planas soldadas a solape.

En cuanto al techo, puede ser autoportante y unido por soldadura a la pared lateral, caso de los pequeños depósitos, o bien realizado con chapa metálica plana, generalmente de aluminio, rigidizado y suspendido de la armadura del depósito exterior mediante tirantes de acero criogénico; en este caso el techo y la pared no son solidarios.

El recipiente interno puede tener que soportar presiones inducidas por el aislamiento a las que se podrían añadir las provocadas por la recuperación de la

configuración de construcción desde su temperatura de operación (puesta en caliente), razón por la que la pared del recipiente interno no se refuerza con rigidizadores.

Aislamiento térmico

El aislamiento es un factor de la calidad del almacenamiento para limitar la entrada de calor al interior del tanque. Diferentes materiales aislantes son utilizados en las distintas partes del tanque. Así para el aislamiento del espacio anular entre los tanques interior y exterior se utiliza la perlita, materia volcánica expandida de aspecto granular que es a menudo producida en obra, en hornos especiales, según necesidades.

Con el fin de controlar que los asentamientos de la perlita durante los ciclos térmicos que sufre el depósito en explotación, y que podrían comprometer el contenido entre los dos recipientes, y no inducir cargas adicionales sobre la cara exterior del tanque interior, se han puesto a punto distintos sistemas para absorber las diferencias de volumen debidas al movimiento de las paredes cilíndricas interna y externa. Los más utilizados son las mantas resilientes constituidas por capas verticales de lana de vidrio colocadas a lo largo de la cara exterior del recipiente interno. Asimismo estas mantas facilitan el flujo de gas de purga durante el proceso de inertizado.

El aislamiento del techo suspendido de la cúpula se rellena de lana de vidrio y materias plásticas expandidas. No hay aislamiento inmediatamente debajo de la cúpula y el espacio de vapor entre el techo suspendido y la cúpula se mantiene próximo a la temperatura ambiente.

El aislamiento del fondo presenta una dificultad particular ya que el material aislante debe soportar el peso del recipiente interno y del líquido almacenado. La capa aislante está constituida por ladrillos de foamglass (vidrio celular) incombustibles, estancos al agua y que resisten bien la compresión. Eventualmente, la capa del fondo puede estar bordeada por una corona de hormigón perlítico, situada justo debajo de la pared del recipiente interno. También pueden utilizarse bloques de madera de balsa como apoyo del muro del depósito interior, presentándose como particularmente idóneos para cumplir la doble misión de resistencia a la compresión y de aislamiento.

A la barrera de vapor se le confía también impedir la entrada de aire y humedad para evitar la alteración de las propiedades de los aislantes por la humedad atmosférica. El espacio entre los dos recipientes se mantiene en atmósfera de gas inerte (nitrógeno) o de gas natural a una presión absoluta del orden de 1 060 a 1 150 mbar.

Recipiente externo

Debe asegurar funciones múltiples:

- Proteger el aislamiento de la intemperie.
- Constituir una segunda barrera estanca en caso de incidente en el recipiente interior.
- Constituir una protección térmica del producto almacenado en caso de incendio exterior.
- Resistir en la medida de lo posible agresiones externas tales como impactos de proyectiles, cargas explosivas, proyecciones de elementos de las instalaciones colindantes en caso de explosión, etc.

Los primeros depósitos comportaban recipientes externos en acero al carbono. En caso de fuga por fallo del recipiente interno, la envoltura externa se encuentra en contacto con el GNL a -160 °C, y aunque el acero al carbono es frágil a esta temperatura puede resistir un tiempo suficiente, el necesario para vaciar el depósito de forma controlada.

La cara externa se recubre generalmente de una pintura reflectante para disminuir la influencia de la radiación solar y las aportaciones térmicas consiguientes.

En la actualidad, apenas se construyen depósitos con el recipiente externo en acero. La estructura de acero al carbono no resiste los incidentes de tipo interno (contacto con el GNL a -160 °C), y no es bueno su comportamiento frente a los sucesos externos:

- En caso de incendio, el acero ofrece una resistencia térmica muy débil.
- En caso de impacto de proyectiles, o de otros objetos volantes, el acero sufre una deformación que suele ir acompañada de rotura fácilmente.

Todos los depósitos de cierta importancia actualmente en construcción disponen de recipientes externos en hormigón pretensado. En este caso la envoltura de hormigón está concebida de tal forma que puedan ser cumplidos ciertos imperativos:

- El paramento interno debe poder ser llevado hasta -160 °C.
- El espesor del muro externo debe ser tal que en caso de fuego en el exterior no se alcance ni la fluencia de los cables de pretensado ni la elevación de la temperatura en el depósito interior, antes de haber vaciado el mismo.
- Por último, frente a las agresiones voluntarias procedentes del exterior presentan menor vulnerabilidad.

6.1.6 EQUIPOS Y ACCESORIOS DE PROCESO Y SEGURIDAD

El depósito de GNL como elemento integrante de un terminal se encuentra unido al resto de las instalaciones (brazos de descarga, red de tuberías, antorcha, etc.) por un conjunto de canalizaciones y elementos accesorios.

Estas canalizaciones presentan un doble problema:

- La soldadura de una tubería sobre la envolvente del depósito constituye una zona de riesgo de fuga más elevado que el resto de la envolvente, de ahí la necesidad de elegir correctamente el emplazamiento de las mismas. La tendencia actual consiste en reagrupar todas las entradas o salidas de tuberías por el techo

del depósito interior. Así el líquido no baña más que paredes exentas de zonas críticas.

- Una canalización constituye siempre un “puente térmico” entre la zona fría interna y el medio ambiente exterior. La penetración de la envolvente externa debe ser pues estudiada especialmente para evitar el “corto-circuito” de las líneas de calor entre la pared externa y las canalizaciones. Subsiste así solamente la transferencia por conducción axial en el metal de la canalización.

En una primera clasificación, se puede agrupar los equipos y accesorios de un depósito en cuatro grandes categorías:

- Las canalizaciones destinadas a la operación y mantenimiento normal del GNL.
- Las canalizaciones destinadas a realizar operaciones excepcionales.
- Equipos e instrumentos de medida.
- Equipamiento para detección de incidentes.

Canalizaciones de operación normal

Comprende principalmente las tuberías de llenado y vaciado. Para asegurar caudales suficientes sin pérdidas de carga prohibitivas los diámetros deben ser importantes.

Estas tuberías no son suficientes para las operaciones normales. En efecto, a medida que se descarga GNL desde el barco metanero, al aumentar el nivel de líquido, el gas existente en el depósito es confinado en el mismo, actuando el líquido a modo de pistón. Es pues, necesario una tubería para evacuar el gas.

En los terminales de última construcción, y en particular en la planta de regasificación objeto del presente proyecto, se equipan con una tubería de “retorno de

gas” que permita evacuar el pistón gaseoso hacia los depósitos del metanero, donde viene a reemplazar al GNL descargado.

La canalización para la evacuación del gas debe ser calculada no solamente para emisiones normales, sino igualmente para evaporaciones intempestivas, que pueden poner en juego caudales considerables.

El vaciado del tanque se realiza a través de bombas internas, denominadas bombas primarias, sumergidas en el líquido e instaladas en pozos de bombas que succionan el GNL mediante unas válvulas de pie que se abren por el peso de la propia bomba.

Estas bombas pueden extraerse por la cúpula del tanque para su mantenimiento. Por razones de seguridad en las plantas modernas todas las tuberías de entrada y salida de producto penetran en el tanque interior a través de la cúpula.

Equipamiento para operaciones excepcionales

Durante la vida útil de un terminal metanero es necesario realizar operaciones que necesitan procedimientos particulares:

- El primer llenado, o lo que sería igual, un llenado después de una parada prolongada.
- El vaciado completo de un depósito con vistas a una intervención humana en su interior para mantenimiento o reparación.
- Otras operaciones especiales con ocasión de situaciones particulares.
- Cuando un tanque es puesto en servicio, como es el caso del comisionado inicial, la atmósfera en el interior del tanque tiene que cambiar del aire a gas natural. El vapor de gas natural está formado principalmente por metano que en un rango de concentración puede formar mezclas con el oxígeno por debajo del 12%. En la práctica se introduce un margen de seguridad y el contenido en oxígeno se reduce

hasta concentraciones en el entorno del 0,5%. Para conseguirlo se purga en el interior del tanque y el espacio anular relleno de perlita con nitrógeno que es un gas inerte.

- En la primera operación se plantea el problema de la “puesta en frío”. Si se procediese solamente a enviar GNL al depósito sin otras precauciones, las partes inferiores de éste se enfriarían mucho más rápido que el resto, pues los coeficientes de transferencia térmica líquido-metal son de 50 a 100 veces superiores a las del gas-metal. Se provocarían de este modo tensiones térmicas inadmisibles. Es pues indispensable asegurar una puesta en frío progresiva y tan homogénea como sea posible, gracias a diversos dispositivos:
 - Una canalización de puesta en frío por la que se envía GNL a presión a través de un difusor (spray ring) para crear una nube en la totalidad del volumen interior.
 - Tuberías de rociado de la pared interior por medio de GNL.
- En la eventualidad de intervención en el interior del depósito es necesario, no solamente vaciar completamente el líquido, sino desembarazarse de toda traza de gas para evitar la formación de mezclas combustibles o atmósferas explosivas. Se dispone generalmente de:
 - Una canalización de agotamiento, unida a una bomba situada en un punto bajo del depósito.
 - Una canalización de purga de nitrógeno.
 - Una canalización para evacuación del gas.

Hay que hacer notar que las dos últimas tuberías sirven igualmente en el primer llenado para evacuar el aire contenido inicialmente en el depósito. Además existen agujeros o entradas de hombre dotadas eventualmente de cabestrantes y jaulas de descenso, escaleras interiores, etc.

- Existen una serie de limitaciones que plantean las variaciones en la calidad del GNL y la evolución de estas calidades en el tiempo. Es necesario realizar, con ocasión de la llegada de ciertos cargamentos, una homogeneización del producto almacenado. Se excluye generalmente el barrido mecánico. La solución clásica es la “corona de barrido” consistente en una tubería circular colocada cerca del fondo y agujereada; esta tubería se alimenta con GNL a presión (o incluso con gas), que escapa a gran velocidad por los agujeros y provoca un movimiento de convección en la masa de líquido almacenado.

Instrumentos de medida y regulación

Las principales magnitudes físicas a medir son el nivel del líquido, presión interior, densidad y temperatura en distintos puntos del depósito interior y del espacio de aislamiento.

La medida de nivel se realiza a través de uno o varios flotadores cuyas indicaciones son transmitidas por otras tantas canalizaciones.

Las temperaturas son señaladas por termopares o termorresistencias repartidas a distintos niveles en el aislamiento en las proximidades de la cara externa del depósito interior.

Los valores de la presión gaseosa se mantiene entre límites estrechos gracias a válvulas de seguridad y rompedoras de vacío en caso contrario. Estas válvulas están conectadas a las respectivas canalizaciones y se abren en el sentido requerido cuando la presión sobrepasa los umbrales admisibles.

La densidad es controlada por medio de una instrumentación sofisticada que barre la columna de líquido de arriba abajo y viceversa, en ciclos repetidos recogiendo información que es transmitida a un procesador que permite detectar variaciones anormales en la densidad que pudieran provocar fenómenos de estratificación del líquido no deseables.

Equipamiento para detección de incidentes

El incidente más grave que puede producirse en un depósito criogénico es la fuga de GNL a través del recipiente interior. Esta fuga puede detectarse a través de los termopares dispuestos en el espacio entre los dos depósitos y en la zona baja donde se recogen los derrames de líquido.

Igualmente están previstos sistemas de alarma para el supuesto de que se sobrepasen los niveles extremos autorizados (alto y bajo nivel). Una superación del nivel alto se traduce por una evacuación de GNL por el rebosadero dispuesto a tal fin y su recuperación en el canal de recogida de derrames situado en el fondo del espacio entre los dos tanques. Un nivel demasiado bajo corre el riesgo de provocar la supresión de la fase líquida en el depósito y consiguientemente un recalentamiento rápido.

6.1.7 PROBLEMAS PROPIOS DEL PRODUCTO ALMACENADO. SEGURIDADES Y EMERGENCIAS

Envejecimiento

Al estar constituidos los GNL por mezclas de distintos hidrocarburos y otros componentes, siendo el metano el principal entre ellos, las entradas de calor al depósito provocan la evaporación de los componentes más volátiles que pasan a estar presentes en el vapor de gas en mayores proporciones que en el líquido generador. Teniendo en cuenta las temperaturas de ebullición respectivas del nitrógeno, metano, etano, etc., el vapor formado contiene todo el nitrógeno (si existe en la fase líquida) y metano.

El líquido residual se empobrece en C_1 y en N_2 y se enriquece en C_2 , C_3 , etc. Si se conserva tiempo suficiente en el depósito sufre un “envejecimiento”, que hace evolucionar su composición y puede hacerlo no intercambiable, después de la regasificación, con los otros gases de la red de transporte.

Se puede evitar o al menos limitar los efectos del envejecimiento sobre la composición del GNL de un almacenamiento por uno de los sistemas siguientes:

- Aislamiento más eficaz con vistas a disminuir el valor de la tasa de boil-off.
- Aporte de GNL fresco (por ejemplo transferido de un metanero).
- Relicuaación de las evaporaciones, por medio de los equipos adecuados.

El último medio es el más eficaz, pues permite conservar la composición y el volumen inicial de GNL, pero es costoso tanto en equipos como en gastos de explotación.

Flash durante las operaciones de transferencia

En el curso de las distintas manipulaciones (carga, descarga, almacenamiento) el estado del GNL se encuentra muy próximo de la saturación, es decir, que su temperatura y su presión están ligadas por la ley de vapor saturado.

La razón está en que el GNL tiene tendencia a calentarse por efecto de múltiples causas:

- El trabajo inyectado por las bombas criogénicas en el medio líquido.
- Las entradas de calor inevitables por las tuberías, etc.

La temperatura del GNL aumenta pues, estando su límite constituido por la temperatura de ebullición.

Cuando un líquido saturado a la presión P_1 (y su T^a correspondiente T_1) se encuentra bruscamente llevado a una presión P_2 inferior a P_1 , se produce una evaporación parcial denominada flash.

La fracción vaporizada es débil en masa, pero importante si se tiene en cuenta la relación de volúmenes gaseoso y líquido. Se ve pues que para evitar un sobredimensionamiento de las tuberías de evacuación, se tiene interés en reducir la

importancia de los flashes. Por consiguiente, para introducir líquido a presión P_2 en el recinto, es conveniente que dicho recinto esté a una presión P_1 superior. Por decirlo de otra manera es necesario que el líquido sea sub-enfriado.

Esto se logra principalmente:

- Aislando suficientemente las canalizaciones de transferencia.
- Utilizando bombas de rendimientos elevados.
- Calculando correctamente las potencias de bombeo para no aumentar, por encima de los que es necesario, la transferencia de energía al GNL.

A este respecto, se puede plantear el problema de las presiones respectivas en el metanero (P_m) y en depósito (P_d). Si $P_m > P_d$ la transferencia del gas se puede efectuar sin bombas, pero hay un flash importante pues el GNL en el metanero estará ciertamente saturado.

El problema se plantea además de la misma manera en la carga de metaneros en las plantas de licuación. Se llega finalmente a la regla de las “presiones absolutas constantes” crecientes a lo largo de toda la cadena de transporte del GNL. Este concepto permite minimizar, después de cada transferencia, el volumen de las evaporaciones que pueden producirse por flash en razón de las energías de bombeo transferidas al líquido y en el caso de descarga de un metanero, en razón de las entradas de calor en los depósitos de éste, cuya tasa de evaporación es por lo general muy superior a la de los depósitos en tierra.

Estratificación del GNL y roll-over

Como ya se ha dicho anteriormente, el GNL no es un producto puro, sino una mezcla de hidrocarburos y nitrógeno en proporciones variables. Si un depósito contiene una cierta cantidad de GNL de composición y densidades diferentes al que se descarga, se pueden producir, en ciertas condiciones, fenómenos de estratificación. Los dos GNL

no se mezclan prácticamente, ocupando el más denso la zona más baja, al menos durante un cierto tiempo.

Para comprobar el porqué de estas acciones conviene conocer el mecanismo del roll-over. El boil-off tiene lugar sólo en la superficie del GNL. En un tanque estratificado la vaporización de los componentes ligeros del GNL (nitrógeno y metano) de la capa superior aumentará su densidad. Por otra parte, con el paso del tiempo, las capas inferiores se calientan bajo el efecto de las entradas de calor por la pared y sobre todo por el fondo del depósito interior. Su temperatura puede aumentar notablemente sin que haya ebullición, ya que estas capas están sometidas a la presión gaseosa (del orden de 1.100 mbar) incrementada por la presión hidrostática, que puede alcanzar valores de 1.000 a 2.000 mbar según el nivel del líquido en el depósito. Al estar las capas inferiores sometidas a mayor presión, su temperatura de ebullición es también más alta, por lo que puede existir una diferencia de una decena de grados kelvin entre la parte baja y la parte alta de un depósito, pues la temperatura de las capas superiores está limitada por el fenómeno de la evaporación.

A medida que esta capa líquida se calienta su densidad disminuye y después de un tiempo suficiente pueden producirse movimientos de convección rápidos (conocidos como roll-over). El GNL del fondo se desplaza hacia la superficie del depósito. Al ser la presión de la fase gas del depósito netamente inferior que la presión de equilibrio de la nueva mezcla se produce una evaporación suplementaria muy importante, que puede alcanzar e incluso sobrepasar las capacidades de evacuación de las tuberías de gas y de las válvulas de seguridad del depósito. Este fenómeno debe ser tenido en cuenta en el diseño, ya que de otra manera el aumento instantáneo de presión podría alcanzar y sobrepasar la presión límite de resistencia del techo.

Este tipo de fenómeno puede, al menos desde un punto de vista teórico, producirse igualmente en el caso de un depósito de GNL incluso si el producto es homogéneo y permanece largo tiempo en el mismo.

En efecto, las diferentes capas de líquido están sometidas a una presión variable en función de su altura. Las entradas de calor en el GNL tienen por efecto recalentar el líquido, lo que produce la creación de un gradiente de temperatura y por consiguiente un

efecto de densidad. Si la densidad de la capa baja llega a ser inferior a la de las otras capas, aquella tenderá a remontar hacia la superficie, provocando así una emisión de gas por expansión.

Las acciones a tomar cuando se detecte estratificación son:

- Poner en operación todas las bombas sumergidas del tanque.
- Enfriar la capa de GNL de fondo recirculando parte del caudal de la bomba hacia la parte inferior del tanque.
- Mezclar el contenido del tanque para eliminar la estratificación, introduciendo el GNL pesado por la parte superior del tanque.

Con estas acciones se consigue:

- Reducir la intensidad del "roll-over".
- Alargar el tiempo hasta que el "roll-over" tenga lugar.

Si se recircula el líquido de la capa del fondo a la parte superior, también se reducirá la intensidad del "roll-over" (al liberar parte de calor de la capa del fondo) pero las densidades de las capas superior e inferior convergerían antes y el "roll-over" podría tener lugar antes de que el vapor generado se haya reducido hasta límites manejables.

En el caso de que por error se cargase un GNL pesado en el fondo y se detectase inmediatamente estratificación, la capa del fondo puede recircularse al plato de choque de llenado por la parte superior (mezclando la carga inferior con la superior), sin riesgo de liberar una gran cantidad de vapor cuando el "roll-over" tenga lugar.

Se recomienda por consiguiente determinar si existe estratificación inmediatamente después de descargar, y en caso afirmativo, mezclar las capas inferior y superior lo antes posible.

Es importante no esperar nunca a que se acumule el exceso de recalentamiento en la capa inferior.

Este fenómeno es aún objeto de estudios, pero un cierto número de precauciones y reglas han podido ser establecidas para prevenir este tipo de incidentes:

- Transportar el GNL en los metaneros bajo una presión inferior a la de los depósitos del terminal.
- Evitar que un cargamento de GNL permanezca mucho tiempo en el barco; las esferas o depósitos del metanero al estar peor aisladas que los depósitos en tierra, hacen que una permanencia prolongada del líquido en ellos se traduzca en un calentamiento, un aumento de presión y una modificación de la composición del líquido por evaporación selectiva.
- En la explotación de un terminal con varios depósitos, evitar el vaciado de los depósitos en paralelo, alimentando por el contrario la red de consumo por un solo depósito, con el fin de poder descargar cada barco en depósito vacío o casi vacío.
- En el caso de recepción, en una terminal, de GNL de distintas procedencias, especializar en la medida de lo posible los depósitos de almacenamiento.
- Cuando se reciba GNL más pesado que el existente en los tanques y si el tanque dispone de descarga por la parte superior e inferior del mismo, realizar ésta por la parte superior.
- Equipar los depósitos en tierra con dispositivos susceptibles de evitar la estratificación inicial: la descarga puede hacerse en parte por la zona alta y en parte por la zona baja de los depósitos; las tubuladuras de salida del líquido en los depósitos pueden estar equipadas con agujeros destinados a recircular el líquido gracias a la energía cinética del GNL descargado. Se puede también prever un sistema interno de recirculación bien sea por una corona de inyección

de nitrógeno, bien sea con la ayuda de bombas de recirculación (las bombas criogénicas sumergidas tienen siempre el inconveniente de inyectar energía en el líquido).

- Por último, dimensionar en todo caso los dispositivos de evacuación del gas evaporado (válvulas de seguridad, tuberías de alivio, antorcha, etc.) con un amplio margen de seguridad.

Un termómetro y un densímetro instalados en el interior del tanque permiten obtener medidas en toda la columna de líquido almacenado y facilitan la observación de la estratificación en diferentes capas.

Es importante monitorizar la distribución de los datos que se recoge de manera regular para confirmar que la temperatura y la densidad son constantes en toda la altura del tanque interior.

Entrada de aire en el tanque de almacenamiento a través de los rompedores de vacío

En el improbable caso de que entrase aire en el espacio de vapor del tanque de almacenamiento a través de los rompedores de vacío, se deben tomar inmediatamente ciertas acciones correctoras.

Si entra aire en el tanque, al ser más pesado que el metano caería inicialmente a estratificarse encima del techo suspendido aislado térmicamente. Al ser desconocida la cantidad de aire que entraría, debe suponerse que puede entrar aire en el espacio de vapor encima del GNL, en el tanque interno.

Por consiguiente, en el caso de que entre aire en el tanque de almacenamiento a través de los rompedores de vacío se debe tomar acción inmediata siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

- Asegurarse de que están parados los compresores de boil-off.
- Aislar la línea de boil-off con la válvula manual en la cúpula del tanque.

- Cerrar las válvulas manuales a la entrada de las válvulas de seguridad a la antorcha.
- Para acelerar el desalojo de aire, inyectar nitrógeno al tanque.
- Dejar que la presión en tanques suba hasta que abran las válvulas de seguridad a atmósfera.
- Inducir vaporización en los tanques si es necesario mediante recirculación del GNL por la línea de llenado del fondo. El calor del bombeo puede así transferirse al GNL almacenado para aumentar la presión del tanque de almacenamiento. El O₂ en el espacio de vapor de los tanques con el tiempo se homogeneizará con el metano y los análisis de gas de los analizadores de O₂ llegarán a ser representativos de la composición del espacio de vapor.
- Los analizadores de O₂ situados en la parte superior de cada tanque, indicarán cuándo la composición de O₂ del gas ha vuelto a un nivel aceptable.

Este procedimiento conlleva cierto riesgo por el hecho de aislar algunas válvulas de seguridad de los tanques si no se toman rigurosas precauciones.

En cualquier caso hay que reconocer que la probabilidad de que entre aire en el tanque es remota.

6.1.8 CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA SEGURIDAD

En la actualidad es un hecho la tendencia mundial a aumentar la seguridad de las instalaciones incluso por encima de los requerimientos específicos de Normas y Códigos vigentes.

El concepto de seguridad es básico a la hora de evaluar las hipótesis de diseño de los almacenamientos de GNL. Para las acciones inherentes a la utilización de los depósitos de almacenamiento deberán cumplirse las prescripciones necesarias de

seguridad, tanto para conseguir la protección de las vidas humanas, propiedades y entorno ambiental, como para que no se interrumpa el normal desarrollo de las actividades propias de la instalación.

No obstante, para determinados grados de severidad de algunas acciones extraordinarias cuya probabilidad de presentación sea muy pequeña, caso por ejemplo de seísmos, catástrofes naturales, fuego externo, etc., puede admitirse que quede dañado el funcionamiento quedando fuera de servicio las instalaciones, siempre que se garantice el mantenimiento de los niveles de protección y seguridad adecuada.

Se establecen así dos niveles de seguridad, cuya consideración viene caracterizada por la respuesta mínima exigida a la estructura.

- Un primer nivel de severidad de las acciones, en el que se consideran aquellos valores para los cuales se garantice la integridad del depósito desde el punto de vista de protección, admitiéndose la suspensión temporal de la operación de almacenamiento.
- Un segundo nivel de severidad de las acciones para el que la instalación debe seguir funcionando sin interrupción de la operación, pudiendo realizarse las reparaciones adecuadas sin necesidad de poner el depósito fuera de servicio.

Riesgos internos

Las acciones accidentales y extraordinarias de origen interno que afectan a la seguridad son:

- Sobre-llenado, con aumento de la presión hidrostática y de la presión de la fase gas. Puede llegar a producirse el derrame por rebose del líquido, inundando el aislamiento perimetral provocando un exceso de evaporación, y por tanto de presión.

- Sobre-presión, por producción excesiva de vapor debida a la estratificación del líquido en dos o más capas o a la entrada excesiva de calor desde el exterior.
- Vacío, provocado por una descarga demasiado rápida del GNL, o del gas producido, o como consecuencia de un cambio brusco de la presión barométrica.
- Choque térmico por derrame que impacta sobre el muro exterior bien por un sobre-llenado bien por rotura total o parcial del depósito interior. También puede producirse un “punto frío” en el muro exterior como consecuencia de un puente térmico a través del aislamiento, que se traduce en la aparición de manchas de hielo y progresivo deterioro del mismo.
- Impacto mecánico del líquido, por la carga hidrostática del mismo debido a un fallo repentino del depósito interior, siendo la magnitud del impacto proporcional a la distancia entre el depósito interior y el muro externo, el nivel del líquido y la densidad del mismo.
- Fuego interno, supuesto en el que la temperatura se elevará cientos de grados centígrados dependiendo del tipo de gas y de la composición de la mezcla gas-aire. El depósito interior debe permanecer intacto en esta carga de fuego y estanco por debajo del nivel del líquido en el depósito interior, que arderá como una antorcha a medida que el nivel del líquido va descendiendo.

Este supuesto presenta difíciles problemas para acometer el cálculo de las secciones del muro exterior que se encuentran próximas a la superficie del líquido que está ardiendo, ya que el gradiente de temperatura vertical entre la zona inundada por el líquido y la zona expuesta al fuego es de varios cientos de grados centígrados en un metro de altura. Esta situación produce unas tensiones en el hormigón difíciles de evaluar, pero que en cualquier caso provocan la inmediata fisuración de las capas expuestas al fuego.

En todo caso se sabe que las estructuras de hormigón pretensado se comportan adecuadamente al fuego durante un número limitado de horas, pero suficiente para quemar o evacuar el contenido del depósito.

Riesgos externos

Entre las acciones extraordinarias debidas a acontecimientos de origen externo se pueden citar las siguientes:

- Fuego externo. La intensidad y duración de la radiación a la que está sometido el depósito dependerá de la altura y el diámetro del recipiente donde se encuentra el foco del fuego y de la distancia entre el fuego y el muro externo.

Es obligatorio la colocación de un sistema de distribución de agua de defensa contra incendios, que riegue la cúpula y las paredes exteriores del tanque, dando así una protección a los recubrimientos incorporados a la estructura (recubrimientos antitérmicos, gunita antitérmica o pinturas especiales). Se trata de evitar que la temperatura en el acero de pretensado sea superior a los 260 °C, para mantener sus propiedades mecánicas.

Los efectos de un fuego externo sobre el muro son similares a los producidos en el caso de derrame de GNL, pero lógicamente a la inversa: la distribución de temperatura en la estructura es función del tiempo pero puede determinarse teóricamente.

El gradiente térmico en el muro dará lugar al desarrollo de fisuras en la cara interna del mismo. Evidentemente un muro expuesto a tal condición externa, quedará inservible después de soportar esta radiación, pero habrá cumplido su misión de impedir que el fuego afecte al depósito interior produciendo una excesiva vaporización.

- Acceso de GNL al exterior del tanque. Esta situación puede producirse como consecuencia de un derrame en un depósito vecino, y en principio no parece condicionar excesivamente los requisitos de diseño. Al construirse tanques

elevados, la altura de muro afectada está limitada a unos pocos metros y en segundo lugar el propio recubrimiento ignífugo es capaz, a veces, de impedir que el choque térmico brusco afecte a los cables de pretensado.

- Explosión exterior. Puede darse el caso de una explosión cercana que afecte al depósito provocando una onda de presión que actúa sobre un lado del muro. Para un cálculo preliminar se puede adoptar una presión de 0,1 bar a 0,3 bar. Es importante comprobar también que las fuerzas de compresión ejercidas sobre el depósito, pueden transmitirse a la cimentación sin fallos del terreno ni de ningún elemento estructural.
- Impactos de elementos de sabotaje, aviación, etc. En el diseño de los depósitos de almacenamiento se contemplan situaciones provocadas por ciertos tipos de impactos procedentes de una explosión de tuberías, válvulas o accesorios en las instalaciones cercanas y que pueden salir proyectados hacia la pared exterior del depósito. Se diseña asimismo el muro exterior para resistir el impacto procedente de un acto de sabotaje o terrorismo, o la caída de un avión comercial.

Los seísmos son tomados en cuenta en la construcción del depósito en función del nivel de riesgo de la zona donde se emplace el tanque. Se investiga primeramente el Seísmo Máximo Histórico Verosímil (o probable), que se puede determinar a partir de normas sísmicas oficiales de cada país (si existen) o por un estudio particular de la estructura geológica y de la historia sísmica de la zona.

A partir del seísmo máximo histórico se definen dos seísmos de referencia:

- OBE (Seísmo Básico de Operación): Un OBE definido para cualquier instalación es el seísmo máximo para el cual no se sufren daños y se puede volver a poner en marcha y continuar funcionando con seguridad. Este evento de probabilidad superior no daría lugar a ninguna pérdida comercial para la instalación, y se mantiene la seguridad pública. Un evento OBE debe precisar una evaluación estructural en el estado límite de mantenibilidad.

- **SSE (Seísmo de Parada Segura):** Un SSE definido para cualquier instalación es el evento sísmico máximo que deben soportar las funciones de seguridad de fallo y los mecanismos esenciales. Para este evento de probabilidad menor cabe esperar daños de carácter permanente pero sin que se pierda la integridad general y la contención. La instalación no seguirá en servicio continuo sin una inspección detallada y una evaluación estructural del estado límite extremo.

La estructura se diseña utilizando las reglas de construcción suministradas por los códigos y normas especializadas, o bien por simulación, mediante cálculo, de la respuesta de la obra a un determinado espectro de seísmo. Este último método se utiliza cuando los códigos están mal adaptados a las construcciones industriales. Una de las dificultades de estos cálculos es la toma en consideración del comportamiento de la fase líquida.

7 SEGURIDAD Y SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

7.1 INTRODUCCIÓN

Se definen a continuación los sistemas empleados para minimizar y controlar en lo razonablemente posible los riesgos inherentes a una terminal de regasificación.

Con la aplicación de distintos sistemas de seguridad y el empleo de un conjunto de criterios en la definición de la implantación se conseguirá obtener en la instalación el nivel de aceptación de riesgos establecidos para el proyecto así como reducir en lo posible los riesgos ya identificados y no resolubles por otros medios.

En materia de seguridad el presente proyecto presenta las siguientes particularidades:

- La ubicación propuesta, la implantación y el diseño conceptual del terminal de importación de GNL cumplen el criterio de aceptación de riesgo individual basado en el riesgo predecible empleando la estimación de riesgos cuantitativos para evaluar peligros de gas e incendio.
- La extensión de terreno asignada para el terminal de importación de GNL es suficiente.
- Las áreas adyacentes a la terminal que estarán sujetas a un futuro desarrollo industrial estarán sometidas a un nivel de riesgo aceptable para ese uso industrial.

Adicionalmente, las siguientes restricciones deberían aplicarse las áreas circundantes al terminal:

- No deberá permitirse la construcción de edificios públicos en las áreas adyacentes a la terminal, ya que elevaría el nivel de riesgo fuera de los límites aceptables.
- Debido a la posibilidad, poco probable, de escapes de gas inflamable fuera del límite establecido por la verja del recinto, sería consistente con el principio de mantener el riesgo tan bajo como razonablemente práctico (ALARP), reducir las fuentes de ignición y los niveles de personal en el entorno de 250 m alrededor de los límites del terminal. Esto implica que en la práctica, sería apropiado que la utilización del área adyacente a la terminal fuera un parque de almacenamiento de contenedores, y no un restaurante o un edificio de oficinas.
- El acceso a un área de 250 m alrededor de los límites del terminal debería estar restringido por la Autoridad Portuaria a aquellos relacionados con las actividades allí desarrolladas con el fin de minimizar el número de personal sujeto a riesgo.

- El riesgo producido debido al desarrollo de actividades de terceros en terrenos colindantes podría invalidar las conclusiones presentadas en este documento. Debería efectuarse una evaluación de los riesgos tales desarrollados como condición previa a la adjudicación de los permisos correspondientes.

7.2 MEDIDAS DE SEGURIDAD

Los siguientes puntos describen las medidas de seguridad en general, y protección contra incendios en particular, a adoptar en la planta de regasificación de Granadilla.

Agruparemos estas medidas en dos categorías diferenciadas según su naturaleza:

- Seguridad pasiva, en que predominan criterios de prevención y minimización de riesgos y efectos de un posible accidente por la propia naturaleza y diseño de las instalaciones.
- Seguridad activa, que afecta a la detección preventiva y/o temprana y el control/extinción del percance una vez producido.

Además la planta contará con un sistema anti-intrusión dotado de detectores y cámaras de televisión con el fin de evitar la entrada de cualquier persona o animal no autorizado en la zona restringida.

7.3 SISTEMA DE SEGURIDAD PASIVA

El sistema de protección pasiva será tal que:

- Los incendios sean prevenidos.
- Los incendios no se puedan extender de un área a otra.

- Los daños en el área próxima al incendio se minimicen.

Esta protección pasiva estará basada entre otros en:

- Presurización positiva en los edificios eléctricos y de instrumentación.
- Componentes eléctricos apropiados de acuerdo con la clasificación de área.
- Protección contra incendio de aquellos equipos que deban estar operativos en caso de parada de emergencia.
- Sistemas de recogida de líquidos.
- Protección de las estructuras de acero contra el fuego y la fragilización.
- Distancias de seguridad entre los equipos.

7.3.1 SISTEMAS DE RECOGIDA DE LÍQUIDOS

La planta estará provista de sistemas de drenaje que conduzcan los derrames de GNL a unas piscinas de recogida provistas de sistemas de espuma y polvo y detectores de fugas. Habrá una en la zona del pantalán, otra en el área de proceso y otra en la zona de carga de camiones.

La construcción de la planta deberá ser de tal forma que evite que las aguas pluviales queden almacenadas en áreas de procesos o de *utilities*. Alrededor del tanque de almacenamiento que contenga productos peligrosos se instalarán sistemas de recogida y drenaje.

7.3.2 PROTECCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO CONTRA EL FUEGO Y LA FRAGILIZACIÓN

Todas las estructuras que puedan poner en peligro la seguridad de la planta por deterioro durante un incendio tendrán una adecuada protección contra incendio. Estas estructuras serán los soportes de los depósitos y tuberías, los depósitos, los pilotes del embarcadero, etc. Estos requerimientos cumplirán con EN-1473 [3].

7.3.3 DISTANCIAS DE SEGURIDAD ENTRE EQUIPOS

La determinación de las distancias de seguridad entre los equipos estará basada en estudios de radiación y dispersión de la posible nube de gas o incendio.

La planta estará dividida en secciones en las cuales los sistemas que contengan hidrocarburos estarán separados de aquellos que no los contienen o estén considerados como no peligrosos.

La localización del venteo será tal que las emisiones estén orientadas fuera de la planta lo máximo posible. El área de influencia del venteo se calculará en base al límite de radiación térmica de $4,73 \text{ kW/m}^2$ indicada por API RP 521.

Las distancias de separación entre unos equipos y otros estarán determinadas de forma que si ocurriese un accidente (derrame, incendio o explosión) en una parte de la planta, éste no afectase a otras partes. En el apartado 18 se recogen las distancias mínimas entre equipos típicas empleadas en terminales de GNL (fuente: Kellogg Engineering). También permitirán fácil mantenimiento y acceso por carretera.

El plano PLOT-001, representa la implantación general de la planta de regasificación, indicando las distancias más características:

- La distancia entre el tanque y la posible construcción de un nuevo tanque en un futuro será de 44 m aproximadamente.

- La distancia entre el frente de carga y el tanque será de 105 m.
- La distancia entre la piscina de recogida de derrames de la zona de almacenamiento y el tanque será de 40 m.
- El área de influencia del venteo tendrá un radio de 75 m.
- La distancia mínima desde la sala de control al tanque será de 183 m aproximadamente.
- La distancia mínima desde el edificio administrativo al tanque será de 295 m aproximadamente.
- Se considera el edificio de vaporizadores de agua de mar como el de mayor riesgo de explosión, puesto que es donde se puede confinar el mayor volumen de gas en caso de fuga. Se fijan como presiones de explosión de diseño del tanque (0,2 barg) y sala de control (0,1 barg), que serán adecuadas, teniendo en cuenta las distancias a las que se encuentran de los vaporizadores: 104 m (mínima) y 160 m respectivamente.

7.4 SISTEMA DE SEGURIDAD ACTIVA

7.4.1 SISTEMAS DE DETECCIÓN

El objetivo del sistema de detección será dar alarma de fugas de GNL o de gas natural, e indicar la presencia de humo o llamas en el caso de declararse un incendio. Deberán cubrir todas las zonas de riesgo y elementos asociados, como por ejemplo los techos del tanque, depósitos de recogida de derrames, salas de control, edificios administrativos y almacenes, equipos de proceso y pantalán, etc.

Los sistemas de detección activarán una alarma previa a la activación de un determinado sistema de protección contra incendios o, en caso necesario, una para de emergencia.

Los principales sistemas de detección previstos son:

- Detectores de llama: se instalarán detectores de llama en las zonas donde se pueda desarrollar un fuego. Serán detectores de infrarrojos, ultravioleta, o sistemas combinados UV/IR.
- Detectores de calor: las bombas que trabajen con hidrocarburos estarán provistas de detectores de calor.
- Detectores de humo: se instalarán detectores fotoeléctricos en todos los edificios, así como en los armarios de instrumentación crítica y en falsos suelos y otros espacios huecos para tendido de cables.
- Detectores de bajas temperaturas: Se emplazarán detectores de frío para detectar fugas de GNL, principalmente en los canales de recogida de derrames, así como en las piscinas de recogida. También deberán instalarse en el espacio entre el tanque interior y el exterior.
- Detectores de gas: a emplazar en la zona de descarga, techo del tanque, vaporizadores, bombas de GNL, bridas, balsas de recogida, compresores de gas evaporado, espacios cerrados donde se pudiera acumular gas, entradas de los sistemas de ventilación etc.

Todos estos sistemas de detección y alarmas estarán monitorizados en un panel en las salas de control del pantalán y área de procesos.

Se instalarán sistemas de sirenas y luces de emergencia por planta y el pantalán para advertir al personal de cualquier emergencia.

Un circuito cerrado de cámaras de vigilancia (CCTV) proporcionará constante monitorización de las zonas de riesgo. El sistema de CCTV contará con cámaras distribuidas a lo largo de la planta y consolas de control, monitores de TV y grabadoras de vídeo tanto en la sala de control principal como en la zona de atraque.

Las cámaras estarán localizadas:

- En todas las entradas y salidas de la planta, tanto de personas como de vehículos.
- A lo largo del perímetro de la planta, para detectar presencias anómalas.
- En la zona de atraque del barco, para vigilar cualquier atraque ilegal.
- Cerca de los cañones de agua, para permitir un control remoto.
- En el venteo.
- En áreas de proceso de alto riesgo.
- En áreas de alta seguridad en edificios.

El CCTV estará conectado con el sistema anti-intrusión y sincronizado con el sistema de control distribuido.

7.4.2 SISTEMAS DE PROTECCIÓN ACTIVA

Incluyen los sistemas que se citan a continuación.

7.4.2.1 Generadores de espuma

Diseñados de acuerdo con NFPA 11a y usados en caso de derrame de GNL. Se cubrirá la superficie del derrame con una capa de aproximadamente 1,8 mm de espesor en un tiempo mínimo, reduciendo el calor de radiación y la velocidad de evaporación del líquido. Las zonas de embalse de GNL y todas las balsas de recogida de derrames estarán equipadas con sistemas fijos de producción de espuma.

La espuma, concentrada al 3%, se almacenará lejos de las zonas de atraque y proceso. Cuando se requiera, se bombeará la espuma hacia los sistemas de generación de espuma de las piscinas de recogida de derrames. Una de las bombas de espuma será de tipo turbina de agua, movida por el agua dulce del sistema contra incendios.

7.4.2.2 Sistemas de polvo

Diseñado de acuerdo con NFPA 17. El polvo seco es el único medio de apagar un incendio de GNL en entorno abierto. Debe ser uno de estos tipos:

- Bicarbonato sódico (NaHCO_3).
- Bicarbonato potásico (KHCO_3).

Se instalarán cerca de los puntos críticos de la planta: zona de descarga, bombas de GNL, compresores de gas, vaporizadores, así como de los puntos de posibles fugas de GNL. El polvo se distribuirá mediante sistemas de extinción fijos y con extintores móviles.

7.4.2.3 Sistemas de diluvio

Diseñado de acuerdo con NFPA 15. Los incendios de GNL ni se controlan ni se apagan con agua, la aplicación de agua sobre una superficie líquida de GNL incrementa

la velocidad de formación de vapor, y por tanto la masa en combustión, con consecuencias negativas para el control del incendio.

Sin embargo, en caso de fuego será necesario enfriar las superficies de otros equipos que estén expuestos a la radiación, reduciendo el deterioro de los mismos y el riesgo de propagación del incendio.

Se proveerá con este sistema a los equipos críticos en el techo del tanque y la plataforma de acceso. No se prevé riego en las paredes del tanque.

Las bombas de alta presión y los compresores de boil-off también estarán protegidos con un sistema de diluvio.

El sistema de diluvio se activará automáticamente por el sistema de detección de incendios, aunque deberá estar provisto de arranque manual tanto local como desde la sala de control.

El sistema de cortinas de agua se usará para reducir rápidamente la concentración de gas de una nube de vapor, transmitiendo calor al gas a través de las gotas de agua.

7.4.2.4 Extintores portátiles

Se instalarán extintores de fuego portátiles y móviles en todos los edificios, áreas de equipos y auxiliares para proporcionar capacidad inicial para la extinción de incendios. Se combinarán extintores de polvo seco y agua en almacenes, dotándose las subestaciones eléctricas de extintores de CO₂.

7.5 CIRCUITO DE AGUA CONTRA INCENDIOS

El diseño del sistema contra incendios estará basado en la necesidad de grandes cantidades de agua en el caso excepcional de un incendio en un tanque.

Se usará agua de mar para este fin. Sin embargo, para evitar problemas de corrosión para bajos requisitos de agua o para pruebas se empleará agua dulce, quedando siempre las tuberías mojadas llenas de agua dulce.

El sistema contra incendios estará dividido por tanto en tres partes:

- Un depósito de almacenamiento de agua dulce de $1\,000\text{ m}^3$ de capacidad y un sistema de bombeo diseñado para mantener la red contra incendios bajo presión. Estará compuesto por dos bombas tipo “jockey” de $20\text{ m}^3/\text{h}$ cada una y una bomba auxiliar de $500\text{ m}^3/\text{h}$. El agua dulce también se usará para hacer las pruebas del sistema contra incendios.
- Sistema de bombeo de agua de mar, formado por dos bombas de $1\,600\text{ m}^3/\text{h}$ cada una, una eléctrica y otra diesel. Estas bombas serán cada una del 100% de capacidad.
- Circuito principal de distribución de agua contra incendios, formado por tuberías de acero al carbono alrededor de todas las áreas de la planta. A este circuito se conectarán los cañones de agua, tomas de agua por mangueras, sistemas de diluvio de los equipos, sistema de formación de espuma y la línea de agua de incendios hacia la zona de descarga.

Las bombas jockey serán las encargadas de mantener la presión en toda la línea del sistema contra incendios. En caso de incendio de pequeñas dimensiones serán éstas las que están funcionando. Si la presión en línea siguiera cayendo, entraría en funcionamiento la bomba auxiliar. Hasta este momento el circuito estaría lleno de agua dulce. En caso de necesidad de agua superior a las que estas tres bombas puedan suministrar, se activarían las bombas de agua de mar. Cada una de ellas estará dimensionada para suministrar el 100% del caudal de agua necesario en caso de incendio. Una vez utilizado el sistema con agua de mar haría falta lavar las tuberías y volverlas a llenar con agua dulce para evitar problemas de corrosión.

El circuito de distribución de agua contra incendios estará conformado por anillos de forma que a cada punto de la planta se acceda por dos caminos distintos, de

modo que si uno resultase dañado el agua entraría por el otro. Debe instalarse suficiente número de válvulas de corte para poder aislar cada sección del anillo de distribución en caso de rotura y mantenimiento.

La presión del circuito se mantendría normalmente a 7 barg (consigna bombas jockey), aumentando hasta 10 barg (para cañones y sistemas de dispersión de agua) en caso de fuego (arranque bombas principales).

El sistema principal de agua contra incendios proveerá también agua de extinción a la zona de amarre, donde se emplazarán dos cañones de agua de gran capacidad. Deberán estar elevados y a distancia segura de la línea de embarque. Deberán alcanzar el frente de carga del barco metanero.

Los cañones estarán provistos con estaciones de operación remota emplazadas a distancia segura, tales como la sala de control del pantalán o la zona de almacenamiento de espuma. Los equipos de control estarán protegidos contra la radiación térmica.

Asimismo, el pantalán contará al menos con cuatro bocas de riego y caja de manguera, y un sistema fijo de polvo.

7.6 SISTEMA ANTI-INTRUSIÓN

Con el fin de evitar la presencia de personas o animales no autorizados dentro de las áreas restringidas, la planta estará dotada de un sistema vigente de vigilancia anti-intrusión.

Este sistema incluirá:

- Detectores de intrusión.
- Cabinas de control.
- Paneles situados en el panel principal de control.

- Cables de conexión.

El sistema de detección estará basado en un solo tipo de sensor, que podrá ser:

- Transmisor y receptor de alta frecuencia.
- Transmisor y receptor de infrarrojos.
- Cable enterrado.

Este detector estará posicionado de forma que no de zonas “ciegas” o de baja sensibilidad en el área de vigilancia. Además deberá ser capaz de distinguir entre animales, personas o vehículos.

Cada área restringida estará cerrada por una doble valla y tendrá asociada una cámara CCTV. En el caso de detección de una intrusión, el sistema seleccionará la cámara correspondiente a esta área. Esta imagen podrá ser visualizada desde las salas de control principal y de atraque.

8 CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

Tomando como referencia la Matriz de Leopold pasamos a la identificación y descripción de todos los impactos generados por el proyecto, tanto en su fase de obra civil, construcción e instalación como en su fase de operación. La predicción de la naturaleza, características y magnitud de los impactos identificados, se desarrolla en los siguientes apartados para cada uno de los elementos o parámetros del medio enumerados a continuación:

- Geología, edafología y suelo.
- Hidrología superficial y marina.
- Hidrogeología, subsuelo y aguas subterráneas.

- Clima y meteorología.
- Calidad del aire.
- Ruidos y Vibraciones.
- Flora, paisaje y usos del suelo.
- Fauna.
- Población, medio económico e infraestructuras.
- Parques. Zonas naturales y monumentos históricos y arqueológicos.

En primer lugar se identificarán y evaluarán los impactos en la fase de construcción y en segundo lugar se identificarán y evaluarán los impactos de la fase de operación.

8.1 IMPACTOS GENERADOS EN FASE DE CONSTRUCCIÓN

Durante la fase de la obra civil de construcción de la planta de regasificación, se realizarán una serie de operaciones. En resumen, las más importantes desde el punto de vista ambiental son las siguientes:

- Instalación de la obra, cimentación, construcción del depósito exterior y postensado. Instalación de la cúpula metálica y hormigonado.
- Construcción del depósito interior, montaje de instalaciones interiores y del aislamiento del tanque.
- Pruebas y enfriamiento del tanque con GN y posteriormente con GNL.

- Instalaciones de proceso.

Para identificar y evaluar los impactos, en la Matriz de Leopold se cruzarán las actividades de la fase de construcción con los elementos ambientales considerados.

Vistas las actividades a realizar en esta fase, los posibles efectos ambientales afectarán a:

- Calidad del aire (gases y vapores, partículas de polvo).
- Ruidos y Vibraciones.
- Hidrología superficial y marina (vertidos de aguas con sustancias contaminantes, combustibles, aceites, etc.).
- Hidrogeología I Agua subterránea I Subsuelo (filtración de los vertidos de aceites y combustibles).
- Población y Medio económico (puestos de trabajo, inversión inducida, etc.).
- Paisaje.

No se considera la posible afectación a la geología, edafología y suelo superficial ya que el tanque y el resto de instalaciones se ubicarán en suelo industrial. Tampoco habrá afectación a la flora ni a la fauna, ya que la construcción de la de la planta de regasificación se realiza sobre suelo de uso industrial, el cual forma parte del Puerto de Granadilla de Tenerife.

Las afectaciones posibles a los parámetros medioambientales considerados y su evaluación son las que se indican en los puntos siguientes.

Calidad del aire

Durante la construcción del tanque se generan las emisiones normales de toda obra civil de construcción en la que interviene maquinaria pesada (pilotaje, grúas, camiones, etc.), así como instalaciones de producción de hormigón, soldaduras, etc.

Algunas de las operaciones necesarias en la fase de construcción del tanque son susceptibles de causar efectos ambientales adversos al parámetro ambiental que estamos analizando, tales como:

- Partículas en suspensión del polvo (perforación pozos pilotes, cimentación, movimiento de tierras, etc.).
- Gases y humos generados por los motores de la maquinaria pesada y por la circulación de medios mecánicos empleados.
- Gases y partículas procedentes de la soldadura del tanque interior, por el pintado de las escaleras exteriores, de los tubos de la RCI, soportes, etc.
- Nitrógeno empleado en el enfriamiento de los tanques, previo a su carga con GNL. El venteo se hará en lugar alto de la cúpula de cada tanque y con seguridad.

Todas las actividades mencionadas generaran gases, vapores y partículas. No obstante, la actividad será temporal y además se desarrolla en la propia zona industrial. Adicionalmente, el entorno cercano al puerto no es una zona con problemas de calidad del aire.

Conocido el tipo de obra civil a realizar y teniendo en cuenta todas sus características y la zona en donde se lleva a cabo la construcción, se asume que el impacto que puede causar la fase de la construcción sobre el elemento ambiental (calidad del aire), sea calificado de compatible y además temporal.

Emisiones difusas

Durante la fase de construcción se generan las emisiones difusas normales de dichos trabajos (circulación de maquinaria pesada, descargas de cemento y áridos, chorreado y pintado de soportes, etc.).

Ruidos y vibraciones

Durante la fase de construcción se generarán los ruidos normales de toda actividad de construcción importante, debido en especial al movimiento y operación de maquinaria pesada.

Se tendrá en cuenta que esta actividad es temporal y que se desarrolla en un entorno antropizado y alejado de las zonas pobladas.

El efecto adverso (molestias) causado por los ruidos y vibraciones de la fase de construcción se asume será poco importante. Afectará como mucho a los trabajadores de la obra situados en la zona de construcción, los cuales llevarán las protecciones auditivas previstas por la legislación vigente. El ruido propagado más alto del perímetro se supone limitado y será en horas diurnas. Se asume pues el carácter compatible y temporal de este impacto.

Aguas residuales

Durante la fase de construcción no se generarán prácticamente aguas residuales, si bien cabe indicar que las aguas residuales mal conducidas pueden arrastrar suelo y áridos al mar.

El suministro de agua se efectuará mediante la red de agua potable existente, gestionada por la Autoridad Portuaria. Esta red atenderá las necesidades de agua sanitaria y para los usos que requieran agua en la operación del Parque de Almacenamiento.

Residuos sólidos

En justificación del Decreto 201/1994, regulador de los derribos y otros residuos de la construcción, se hace constar que de acuerdo con el contenido de este proyecto no está previsto el derribo de instalaciones existentes y, por tanto, los únicos residuos que se originarán son rellenos sobrantes procedentes de la excavación y otros residuos procedentes de la propia construcción.

Referente a los residuos de construcción, se resalta que al tratarse de una obra preferentemente de hormigón armado y al utilizarse encofrados recuperables, no se producirán apenas residuos de construcción, los cuales se depositarán en un vertedero autorizado.

Hidrología, hidrogeología y subsuelo

Las operaciones de la fase de la construcción son susceptibles de causar efectos ambientales adversos a los parámetros ambientales que estamos analizando, tales como:

- Vertido accidental de combustibles y aceites procedentes de los motores de la maquinaria empleada.
- Gestión deficiente de los residuos sólidos asimilables a urbanos (generados por el personal de obra).
- Deposición inadecuada de residuos peligrosos (aceites) o procedentes de las labores de construcción (escombros, hormigón sobrante, etc.) que serían arrastrados en caso de lluvia o en caso de limpieza inadecuada.
- Arrastre de sólidos al mar en caso de lluvia intensa.
- Limpieza de la maquinaria.

El Plan de Obra considerará la correcta gestión de los residuos generados proponiendo acciones para evitar su generación y en su caso, su completa eliminación. Los residuos urbanos generados se gestionarán conforme la legislación vigente (uso de bolsas y contenedores específicos y eliminación por gestor autorizado). En caso de lluvia intensa durante la fase de construcción de la obra civil las aguas pluviales generadas irán a la red de pluviales de la Autoridad Portuaria.

Dadas las características de la obra a realizar se considera que el riesgo de afección a los parámetros ambientales considerados es bajo, asumiéndose un impacto compatible aparte de temporal.

Población y medio económico

Todas las actividades de la fase de la obra civil son beneficiosas desde el punto de vista económico.

Se asume en este caso que el impacto causado es positivo, aunque temporal.

Paisaje

La fase de construcción apenas provocará impacto visual adverso adicional ya que la zona de su construcción es integrada en el Sector Industrial del propio Puerto Exterior de Granadilla, en el que existen ya depósitos y otros tanques similares y tanques adicionales más pequeños, todos de la propia actividad, además de numerosos tanques también de grandes dimensiones correspondientes a otras actividades.

Se asume en este caso que el impacto causado es compatible.

8.2 IMPACTOS GENERADOS EN FASE DE OPERACIÓN

Durante la operación de la planta de regasificación, puede existir afectación a alguno de los parámetros ambientales considerados y en la Matriz de Leopold, concretamente podrá afectar a los siguientes parámetros:

- Calidad del aire (emisiones en caso de emergencia de GNL).
- Ruidos y Vibraciones (bombas de trasiego del GNL).
- Hidrología superficial y marina (vertidos de GNL al mar en caso de accidente muy grave).
- Suelo, subsuelo y agua subterránea (fuga GNL al suelo en caso de accidente).
- Población y Medio Económico (aumento de puestos de trabajo).
- Paisaje.

Dado el tipo de operación y el lugar en donde se realiza, se considera que no hay riesgo de afección a los parámetros ambientales siguientes:

- Geología y edafología.
- Flora.
- Fauna.
- Yacimientos arqueológicos y/o puntos de interés especial.

Se tendrá en cuenta que la operación del Parque se realizará en una zona ya familiarizada con la actividad y antropizado, asumiéndose por lo tanto que el impacto generado sobre los parámetros de Geología, Edafología y Suelo, Flora y Fauna del entorno es prácticamente inexistente y no significativo.

Por último, se asume la no existencia de yacimientos arqueológicos conforme a la documentación al respecto.

Calidad del aire

La fase del enfriamiento del tanque, previo a su carga inicial de GNL, se realizará con GN y posteriormente con GNL. No se realizarán emisiones a la atmósfera durante esta fase.

En esta fase de operación, las emisiones puntuales de gas natural serían las procedentes de las válvulas de seguridad del tanque. Se generan solamente en caso de emergencia grave, ya que durante los diferentes trasvases que se realizan desde buque a tanque los vapores existentes en el tanque o se trasvasan al buque o se comprimen en los equipos ya existentes (compresores de boil-off) para mantener baja la presión en el interior del tanque (a menos de 250 mbar). En caso de emergencia "normal", los vapores de GN se ventearían a la antorcha.

La antorcha existente servirá para ventear y quemar los gases que se pudieran generar en el tanque. Se debe tener en cuenta que ventear a antorcha es ya una emergencia, puesto que se prefiere por razones económicas, condensar los vapores generados en el relicuador tras ser comprimido por el sistema de compresores de boil-off, equipos que se encuentran ya instalados con este propósito.

Tal y como se indica anteriormente, pueden existir emisiones puntuales y difusas (COV's) durante algunas operaciones que se lleva a cabo en la actividad, como pueden ser:

- Purgado de líneas para tareas de mantenimiento.
- Pequeñas fugas accidentales de producto (evaporación de producto del charco formado).
- Fugas pequeñas difusas a través de juntas y uniones.

Para minimizar las emisiones durante la operación, se dispone de todas las medidas de seguridad que se mencionan anteriormente. Hay que tener en cuenta en la operación normal de la planta que las únicas emisiones asumibles son las difusas, siendo todas las demás accidentales.

Por otro lado, se tratará de minimizar las emisiones difusas al máximo ya que son pérdidas de producto que además de ser un dispendio económico son fuente de riesgos industriales.

Adicionalmente, la propiedad realizará los estudios que indica el RD 1254/1999, de prevención de accidentes graves, para demostrar que se han tomado todas las medidas para prevenir y minimizar los riesgos derivados de la operación de la planta.

Considerando los bajos valores de caudal másico que implican las emisiones difusas, se asume que la posible afectación a la calidad del aire es un impacto compatible.

Emisiones difusas

En fase de operación, estas emisiones de gas proceden de fugas minúsculas que pueden tener lugar a través de las juntas de los diferentes accesorios y conexiones del tanque y del resto de equipos de la instalación, así como de las líneas:

- Bridas y uniones.
- Válvulas de corte y regulación.

- Pequeños racores de los instrumentos.
- Válvulas de purga y tomas de muestras.

Se minimizará el número de bridas en la terminal, favoreciendo uniones soldadas entre tuberías y válvulas con el objeto de reducir las posibles emisiones difusas por este concepto.

En la planta se instalarán detectores de gas, que en el momento que detecten una fuga harán saltar la alarma correspondiente y aislarán el elemento para detener la fuga.

Aguas residuales

La operación del conjunto de la planta generará las aguas residuales siguientes:

- Aguas sanitarias.

Son las generadas por las personas presentes en la planta y oficinas. Se tendrá en cuenta que no se aumentará en gran cantidad el personal presente en la planta debido a las nuevas instalaciones.

Las aguas sanitarias serán conducidas a una línea de tratamiento compuesta por un decantador antes del vertido a la red general de drenajes de la Autoridad Portuaria de Tenerife.

- Aguas pluviales

Durante la fase de operación, la recogida de aguas de la red de aguas pluviales se realiza a través de sumideros situados en las áreas de circulación, pavimentadas con las correspondientes pendientes a dichos sumideros. La red de pluviales evacuará directamente a la red general de drenajes de la Autoridad Portuaria de Tenerife.

- Aguas residuales industriales o de proceso.

En condiciones de operación normal de la planta no se generarán aguas residuales adicionales a las que ya se generan.

Residuos sólidos

La operación de los equipos no generará residuo alguno. De igual modo, la operación de la planta, la incorporación de los equipos y la capacidad de emisión generarán los residuos a tener en consideración que se muestran en la Tabla 7 durante el funcionamiento normal.

TIPO DE RESIDUO	CLASIFICACIÓN SEGÚN CER	CANTIDAD ESTIMADA (TN/AÑO)	GESTIÓN INTERNA / EXTERNA
Residuos municipales de personal	200301	2,0	Recogida en contenedores adecuados y entrega a gestor autorizado.
Lodos de fosas sépticas	200304	1,0	Recogida en camiones bomba y entrega a gestor autorizado.
Escombros diversos y restos de hormigón	170904	20,0	Recogida en contenedores adecuados y entrega a gestor autorizado.
Palés de madera, sacos de papel, trozos de hierro encofrado, etc.	170106	5,0	Recogida en contenedores adecuados y entrega a gestor autorizado.

Tabla 7: Residuos sólidos generados durante la fase de operación de la planta (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)

Agua de mar

El agua de mar se emplea para regasificar el GNL. Durante la fase de operación de la planta se genera un aporte de agua más fría (unos 5 °C más fría) por la descarga de agua de mar de los vaporizadores y con una concentración de cloro residual de 0,2 ppm.

Se estima que se descargarán hasta 35 000 m³/h de agua de mar y mediante la operación de una tubería submarina, se espera lograr una diferencia térmica igual o menor a 5 °C, medida a 100 m de la descarga.

Se facilitará la rápida mezcla de la descarga, de manera que la diferencia de temperatura estará en el rango de variación térmica de la zona.

El agua mezclada será apreciable solamente en una pequeña zona de influencia con radio de decenas de metros. La temperatura ligeramente disminuida no afectará sensiblemente a especies de interés pesquero, pues organismos del necton tienen suficiente capacidad natatoria para alejarse y se considera que los organismos bentónicos podrán adaptarse pues el rango de variación térmica está dentro de las variaciones que naturalmente se presentan en la zona.

El cloro residual puede tener un efecto dañino, especialmente para especies de alta sensibilidad. La dilución del agua de la descarga permitirá mitigar en buena medida este efecto.

Hidrología superficial y marina

En la fase de funcionamiento normal de la planta, no se generarán aguas residuales adicionales a las ya existentes en la actividad. En caso de pruebas periódicas de la Red Contra Incendios o de emergencia real, las aguas procedentes de la RCI irán a la red de pluviales de la planta y al mar.

Se asume que no existe afectación a la hidrología marina por las aguas vertidas.

Suelo y aguas subterráneas

El subsuelo y las aguas subterráneas no se verán dañados en caso de alguna fuga accidental de producto ya que éste evaporará rápidamente.

Adicionalmente, en las zonas en donde es plausible esperar algún tipo de derrame, se dispone de canaletas que conducen el derrame a fosos alejados y dotados de

detectores y sistemas automáticos de extinción y/o proyección de espuma para detener la evaporación de gas y/o extinguir el fuego.

Dado que se dispone de la protección suficiente ante posibles fugas o derrames, se asume que el impacto generado sobre el subsuelo y las aguas subterráneas es nulo.

Población y medio económico

Todas las operaciones que se llevan a cabo durante la operación del tanque son beneficiosas desde el punto de vista económico, puesto que aunque no se generará un gran aumento de puestos de trabajo, si se dispondrá de mejores garantías de suministro de gas.

Se asume un impacto positivo debido al aumento de puestos de trabajo y a la fiabilidad del suministro de gas.

Paisaje

El paisaje no sufrirá de impacto significativo, ya que se trata de una serie de equipos instalados junto a una planta similar situada en un área industrial, quedando integrados en el Puerto Exterior de Granadilla.

Se asume la compatibilidad del impacto dado que se trata de equipos adicionales a los existentes a instalar en una zona antropizada.

8.3 IMPACTOS GENERADOS EN FASE DE DEMOLICIÓN

Una vez agotada la vida útil de las instalaciones, se procederá a su demolición y eliminación. Para ello, y con anterioridad, se efectuarán las actividades necesarias para vaciar completamente el producto del interior de los equipos y las líneas, proceder a su purga, lavado e inertizado para después proceder a las labores de demolición y

eliminación de los escombros mediante gestor autorizado o con su reaprovechamiento como relleno.

Otras emisiones que podrían tener lugar son:

- Emisiones a la atmósfera:
 - Partículas en suspensión propias de la actividad de demolición.
 - Humos de la combustión de los motores de la maquinaria empleada.
- Ruidos y vibraciones:
 - Procedentes de la maquinaria empleada.
 - Procedente de la caída de cascotes, paredes, etc.
- Aguas residuales:
 - Lluvia intensa y arrastre de sólidos al mar durante las tareas de demolición.
 - Limpiezas diversas.
- Residuos sólidos:
 - Escombros de hormigón.
 - Hierro del armado.
 - Acero del tanque interior.
 - Acero inoxidable de las tuberías.

- Acero al carbono de soportes, escaleras, etc.

Las tareas de demolición, cuando tengan lugar, generarán residuos de hormigón armado y también chatarra de hierro. Ambos residuos se gestionarán según la legislación vigente.

Todas estas emisiones generadas son de baja intensidad. La única a tener en cuenta es la importante cantidad de residuos inertes de hormigón que se generará. Para ello, y con tiempo, se podría prever un destino adecuado a los mismos para su reutilización (relleno, rompeolas, construcción de infraestructura, etc.).

Las demás emisiones son asumibles, teniendo en cuenta que serán temporales y se generan en un entorno antropizado y muy alejado de la zona urbana. Los impactos positivos serían:

- Paisaje.
- Aumento de puestos de trabajo en la demolición, aunque posible disminución posterior.
- Nuevo uso del suelo de la zona.

8.4. MATRIZ DE IMPACTOS (LEOPOLD)

ELEMENTOS DEL MEDIO AMBIENTE DEL ENTORNO DEL PROYECTO									
FASE DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN POSTERIOR DE LOS TANQUES	GEOLOGÍA / SUELO	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y MARINA	HIDROGEOLOGÍA Y SUBSUELO	CALIDAD DEL AIRE	FLORA	FAUNA	POBLACIÓN Y MEDIO ECONÓMICO	PAISAJE	YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS Y PUNTOS DE INTERÉS
Instalación de la obra, cimentación, construcción de los depósitos exteriores y postensado. Instalación de las cúpulas metálicas y hormigonado.	---	✓ (*)	✓ (*)	✓ (*)	---	---	✓ (+)	✓ (*)	---
Construcción de los depósitos interiores, montaje de instalaciones interiores y aislamiento entre tanques.	---	---	---	---	---	---	✓ (+)	✓ (*)	---
Pruebas y enfriamiento final de los tanques con nitrógeno.	---	---	---	✓ (*)	---	---	✓ (+)	---	---
Instalaciones de proceso	---	---	✓ (*)	✓ (*)	---	---	✓ (+)	✓ (*)	---
Limpieza final, purgado de líneas y demolición de los tanques.	---	✓ (*)	✓ (*)	✓ (*)	---	---	✓ (+)	✓ (+)	---

ELEMENTOS DEL MEDIO AMBIENTE DEL ENTORNO DEL PROYECTO									
FASE DE OPERACIÓN DE LOS TANQUES	GEOLOGÍA / SUELO	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y MARINA	HIDROGEOLOGÍA Y SUBSUELO	CALIDAD DEL AIRE	FLORA	FAUNA	POBLACIÓN Y MEDIO ECONÓMICO	PAISAJE	YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS Y PUNTOS DE INTERÉS
Emissiones gaseosas	---	---	---	✓	---	---	---	---	---
Ruidos y vibraciones	---	---	---	✓	---	---	---	---	---
Residuos generados	---	✓	✓	---	---	---	---	---	---
Aguas residuales	---	✓	✓	---	---	---	---	---	---
Aumento puestos trabajo y servicios	---	---	---	---	---	---	✓ (+)	---	---

(*) Solo temporalmente

(+) Positivo

Tabla 8: Matriz de Leopold (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)

8.5 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LOS IMPACTOS IDENTIFICADOS

8.5.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA EN FASE DE CONTRUCCIÓN

PUNTUACIÓN DE CADA UNA DE LAS PROPIEDADES DEL IMPACTO					
PROPIEDAD DEL IMPACTO	IMPACTO				
	EMISIONES DE PARTÍCULAS	AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS	PAISAJE	RUIDOS Y VIBRACIONES	AUMENTO RENTA
Naturaleza	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
Intensidad	1	1	1	1	1
Extensión	2	1	1	1	2
Momento	2	2	4	2	2
Persistencia	1	1	2	2	2
Reversibilidad	1	1	1	1	2
Sinergia	1	1	1	1	2
Acumulación	1	1	1	1	1
Efecto	4	4	4	4	1
Periodicidad	1	1	2	2	1
Recuperabilidad	1	1	1	1	2
Acumulación	-19	-17	-21	-19	+20

Tabla 9: Evaluación cualitativa en fase de construcción (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)

El impacto global de la fase de construcción se puede calificar como irrelevante o compatible.

8.5.2 EVALUACIÓN CUALITATIVA EN FASE DE OPERACIÓN

PUNTUACIÓN DE CADA UNA DE LAS PROPIEDADES DEL IMPACTO					
PROPIEDAD DEL IMPACTO	IMPACTO				
	EMISIONES DE COVs	AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS	PAISAJE	RUIDOS Y VIBRACIONES	AUMENTO RENTA
Naturaleza	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
Intensidad	1	1	1	1	1
Extensión	1	1	1	1	2
Momento	2	2	4	2	2
Persistencia	2	2	2	2	2
Reversibilidad	1	1	1	1	2
Sinergia	1	1	1	1	2
Acumulación	1	1	1	1	1
Efecto	1	1	4	1	1
Periodicidad	1	2	2	4	1
Recuperabilidad	1	1	1	1	2
Acumulación	-15	-16	-21	-18	+20

Tabla 10: Evaluación cualitativa en fase de operación (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)

El impacto global de la fase de operación se puede calificar como irrelevante o compatible.

8.5.3 EVALUACIÓN CUALITATIVA EN FASE DE DEMOLICIÓN

PUNTUACIÓN DE CADA UNA DE LAS PROPIEDADES DEL IMPACTO					
PROPIEDAD DEL IMPACTO	IMPACTO				
	EMISIONES DE COVs	AGUAS RESIDUALES Y RESIDUOS	PAISAJE	RUIDOS Y VIBRACIONES	AUMENTO RENTA
Naturaleza	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
Intensidad	1	1	1	1	1
Extensión	1	1	1	1	2
Momento	2	2	2	2	2
Persistencia	2	2	2	2	2
Reversibilidad	1	1	1	1	2
Sinergia	1	1	1	1	2
Acumulación	1	1	1	1	1
Efecto	4	4	4	4	1
Periodicidad	2	1	1	2	1
Recuperabilidad	1	1	1	1	2
Acumulación	-19	-18	-18	-19	+20

Tabla 11: Evaluación cualitativa en fase de demolición (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)

El impacto global de la fase de demolición se puede calificar como irrelevante o compatible.

8.6 COMENTARIO GLOBAL SOBRE LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS

Se han identificado, descrito y evaluado los impactos generados por la obra civil y de la construcción e instalación de los equipos, considerando que el impacto ambiental causado resulta compatible. No se ocasiona por la obra civil impacto ambiental adverso calificable como tal.

Se han identificado, descrito y evaluado los impactos generados por la operación de los equipos, considerando que el impacto ambiental global es compatible. Adicionalmente, para una evaluación más cuantitativa del impacto generado se ha aplicado el método indicado con anterioridad, de forma que se obtiene igualmente para la operación de las instalaciones un impacto irrelevante o compatible.

Se han identificado, descrito y evaluado los impactos generados por la demolición de las instalaciones, considerando que el impacto ambiental global es compatible.

8.7 MEDIDAS CORRECTORAS

8.7.1 INTRODUCCIÓN

Las medidas correctoras para minimizar el impacto ambiental son aquellas medidas que se implantan desde la fase inicial de la construcción hasta la fase posterior de operación, con el objetivo de minimizar el impacto adverso causado en cada una de ellas.

Dado que el impacto ambiental ocasionado por el proyecto es a lo sumo compatible, no se considera necesaria la introducción de medida correctora alguna. Las medidas correctoras aplicables, en su caso, pueden clasificarse conforme se indica a continuación.

- Preventivas. Son aquellas medidas que se establecen para evitar que se produzca el impacto. Estas medidas se pueden implantar tanto en la fase de construcción de las instalaciones como en la operación de las mismas. Esta clase de medidas son las más adecuadas, ya que permiten la mejor protección del entorno.
- Medidas contingentes o minimizadoras. Las medidas contingentes son aquellas que se aplican cuando no es posible asegurar la existencia de impacto o efecto adverso, sea por la imprevisibilidad de su evolución o por la imposibilidad de evitarlo. En esta situación, el objetivo es minimizar el impacto adverso causado.

8.7.2 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTORAS EN CONSTRUCCIÓN

ACCIONES GENERADORAS DE IMPACTO	MEDIDAS CORRECTORAS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Preparación del terreno, zanjas y excavaciones (levantamiento de polvo) ✓ Pintado de elementos externos del tanque (tubos de la RCI, soportes, escaleras, etc.) ✓ Ruidos y vibraciones ✓ Preparación del suelo del emplazamiento ✓ Derrame de combustibles y riesgo de contaminación del suelo y el subsuelo ✓ Deposición incorrecta de residuos y riesgo de contaminación del suelo, subsuelo y mar ✓ Generación de aguas residuales por limpieza incorrecta de la maquinaria ✓ En caso de lluvia intensa, arrastre de sólidos al mar ✓ Riesgos de accidentes de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Regar a menudo para mantener húmedo el suelo ✓ En planta sólo se permite pintar con rodillo. Todos los trabajos de pintura se realizan en taller fuera de la planta ✓ Emplear maquinaria moderna para generar menor nivel sonoro ✓ Una vez terminada la obra, regenerar y replantar las áreas sin uso ✓ Correcta gestión de los combustibles empleados y de los demás residuos generados ✓ Gestionar todos los residuos mediante gestor autorizado ✓ Limpiar la maquinaria solo en caso necesario y hacerlo en una zona protegida e impermeable, recogiendo las aguas para tratarlas de forma correcta ✓ Disponer de barreras para tranquilizar las pluviales y retener sólidos ✓ Ejecución correcta del Plan de seguridad durante la obra civil

Tabla 12: Medidas preventivas y/o correctoras en construcción (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)

8.7.3 MEDIDAS PREVENTIVAS Y/O CORRECTORES EN OPERACIÓN

IMPACTO A LA CALIDAD DEL AIRE	MEDIDAS APLICABLES
✓ Emisiones difusas	✓ Controles periódicos del estado de líneas y equipos
	✓ Empleo de las mejores tecnologías disponibles
✓ Ruidos y vibraciones	✓ Cumplimiento de los procedimientos de instalación de equipos mecánicos para minimizar el ruido y las vibraciones de los equipos y limitarlos a un máximo de 80 dB(A) a 1 metro
	✓ Aplicación de lo indicado en el Reglamento de salud laboral para la protección de los trabajadores del ruido en el puesto de trabajo

IMPACTO A LA HIDROLOGÍA / HIDROGRAFÍA	MEDIDAS APLICABLES
✓ Aguas pluviales	✓ Mantener el suelo limpio

IMPACTO AL SUELO Y SUBSUELO	MEDIDAS APLICABLES
✓ Residuos asimilables a municipales	✓ Gestión correcta de todos los residuos generados

IMPACTO A LA POBLACIÓN Y MEDIO ECONÓMICO	MEDIDAS APLICABLES
✓ Accidentes de trabajo	✓ Cumplimiento de la legislación vigente sobre riesgos laborales (Estudio de riesgos y salud laboral, plan de emergencias, etc.)
✓ Accidentes graves	✓ Cumplimiento de la legislación vigente sobre Accidentes graves (RD 1254/1999)

Tabla 13: Medidas preventivas y/o correctores en operación (Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental)

8.8 PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL

8.8.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se describe el Plan de Vigilancia Ambiental (PVA) que se emplea y aplica para aquellos impactos que requieren un control ambiental a lo largo del tiempo.

En cualquier caso, es importante destacar que en el caso que nos ocupa, ninguno de los impactos identificados y evaluados requiere PVA dado el carácter compatible de los efectos ambientales adversos generados.

8.8.2 PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL EN FASE DE CONSTRUCCIÓN

Obra civil y construcción

Para minimizar el impacto ambiental que la obra civil, la construcción de los tanques de almacenamiento y la instalación del resto de equipos pueden causar al medio físico ambiental, se supervisará los planes de obras propuestos por las empresas constructoras en base a eliminar y, en su caso, reducir el impacto ambiental generado.

Teniendo en cuenta dicho Plan de obra, se asume la no necesidad de disponer de un Plan de vigilancia ambiental.

Demolición

Cuando se prevea la demolición de las instalaciones, se tomarán las medidas oportunas y las que reglamentariamente se requieran para realizar dicha actividad de la forma más segura posible, teniendo en cuenta la seguridad de las personas, el medio ambiente y el resto de instalaciones de la propiedad.

8.8.3 PROGRAMA DE VIGILANCIA AMBIENTAL EN FASE DE OPERACIÓN

Los impactos que se han identificado, descrito y evaluado, son los ocasionados por las emisiones siguientes:

- Emisiones difusas a la atmósfera diversas.
- Aguas residuales y residuos generados.
- Ruidos y vibraciones.
- Accidentes graves.

Se han calificado dichos impactos como absolutamente compatibles con el medio y el entorno físico de la zona. Por tanto, no se debería considerar necesario implementar el programa de vigilancia ambiental específico para la operación de la planta.

La legislación aplicable al tipo de actividad y operación que se realiza en los tanques de almacenamiento y en el conjunto de la Terminal impone suficientes controles para conseguir un seguimiento normal y adecuado de la gestión ambiental de la planta.

Adicionalmente, la empresa aplicará sus procedimientos, controles y know-how para realizar una operación segura y eficaz con los nuevos equipos.

Emisiones difusas

Todo el sistema de bridas, válvulas, cierres, sellos, etc. que se instalan adoptan la mejor tecnología disponible para minimizar las emisiones difusas. La red de tuberías, previo a su entrega, se probará a presión para asegurar la ausencia de fugas. Todas las tuberías son soldadas y radiografiadas al 100%, de forma que se reduce el número de bridas para evitar emisiones difusas.

Adicionalmente, el tanque y el resto de la planta están dotados de un gran número de detectores de gas que generarían una alarma en caso de detección de gas, incluso a baja emisión. Por otro lado, se establecerá auditorías internas, revisiones periódicas, inspecciones in situ programadas o no, planes de mantenimiento, etc. para asegurar que el tanque, la planta y todos los sistemas de seguridad mantienen siempre sus condiciones iniciales de operación.

Las bombas primarias están sumergidas por lo que no resultan generadoras de emisión ni transmiten vibración alguna y las válvulas de seguridad ventean a la antorcha.

Por todo ello, y dado el bajo caudal másico que implican estas emisiones difusas generadas (ppm) no se establece, como en los casos anteriores, ningún plan de vigilancia ambiental determinado.

Aguas residuales y residuos generados

Se establece el plan de mantenimiento adecuado de la red de drenajes. Adicionalmente, se mantendrán todos los fosos de recogida de vertidos limpios y vacíos, vaciándolos durante y después de los periodos de lluvia.

Se tendrá en cuenta la legislación vigente, en especial lo que se indica en el Reglamento Metropolitano de Tenerife, y las normas que establezca la Autoridad Portuaria de Tenerife, en relación a los parámetros del vertido de las aguas residuales a colector.

La operación del tanque de almacenamiento y el resto de equipos no genera residuo alguno ya que no se incrementa prácticamente el número de trabajadores de la planta.

Ruidos y vibraciones

Las bombas del tanque son sumergidas, de forma que no incrementan el nivel sonoro de la planta y mucho menos del entorno de la misma. Se dispondrá de nuevas

bombas secundarias. Todas las bombas se instalarán de forma adecuada, para evitar la generación y transmisión de ruido de las mismas a las conducciones exteriores.

Los valores de emisión para los distintos focos de ruido que se han considerado como contribución de la planta regasificadora y de almacenamiento de GNL objeto del presente proyecto originan unos niveles previstos de ruido que se encuentran por debajo de los límites permitidos, por lo que no se dispone de otras fuentes de ruido a tener en cuenta en el proyecto.

Tampoco se asumen vibraciones anormales, dado el tipo de equipos a instalar para la ampliación de la planta y la experiencia que existe en su instalación y operación.

Prevención de accidentes graves

Se llevará a cabo todos los estudios que indica la legislación vigente para demostrar que se han tomado todas las medidas adecuadas para minimizar el riesgo de accidente grave, conforme a lo dispuesto en el Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Se dispondrá del plan de mantenimiento correcto para que los elementos de seguridad instalados, tales como los detectores de gas, temperatura y fuego, sistemas contra incendio, hydro-shields, diluvio, espuma, polvo químico, etc., estén siempre en condiciones operativas correctas y fiables.

9 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

9.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *“Manual de plantas de regasificación”. Sedigas. Primera edición. España, 2009.*
- *“Soluciones prácticas para el ingeniero químico”. Carl R. Branan. Segunda edición, Ed. McGraw-Hill.*
- *“Guía Metodológica para la evaluación del impacto ambiental” . V. Conesa Fdez. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 2009’.*
- *“Anuario Energético de Canarias”2011.Consejería de Empleo, Industria y Comercio, Gobierno de Canarias.*
- *”Plan Energético de Canarias”. 2007 y revisiones sucesivas. Consejería de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías, Gobierno de Canarias.*
- *“Manual de plantas de regasificación”. Sedigas. Primera edición. España, 2009.*
- *“Manual del Ingeniero Químico”. Robert H. Perry. McGraw Hill, México 1992.*
- *“Catálogo de Compresores Elliott .Características y Selección”*
- *www.elliott-turbo.com/compressors.asp*
- *“Manual de transporte”. Sedigas. España, 2005.*
- *“Grupo NGTS: Entradas mínimas. Plantas de Regasificación”. Dirección de análisis y desarrollo del sistema. Enagas, 2010.*

- *“Transporte, GNL y almacenamiento de gas”. Instituto Superior de la Energía (ISE), 2004.*
- *“Evolución del GN y Avances Tecnológicos en las Plantas de GNL de España”. Artículo elaborado por Enrique Carrión Iniesta.*
- *“El Gas Natural en España. Infraestructuras actuales y proyectos en curso”. Ingeniería Química, Febrero 2010.*
- *“La cadena del GNL”. Repsol. M^a Bernarda Zapata Martínez. Noviembre 2010.*
- *“El Gas Natural”. Luis Cáceres Graziani. Tercera edición, Noviembre 2002.*
- *“Manual para el cálculo de intercambiadores de calor y bancos de tubos aleteados”. Yevgen Pysmenny, Georgiy Polupan, Ignacio Carvajal Mariscal, Florencio Sánchez Silva. Ed. Reverté. México, 2007.*
- *<http://www.cores.es>*
- *“Vaporizadores de agua de mar para gas natural licuado”. Francesc Estrany Coda, Jordi Dosta Parcerisa, Judith Pérez González, Soraya Muñoz Cameo, Óscar Rodríguez Valls. Técnica Industrial 268. Abril 2007.*
- *“Recuperación del gas de boil off en una terminal de regasificación de GNL. Cálculo del balance de generación del gas”. Ingeniería Química, Febrero 2008.*
- *“Seguridad en el diseño y operación de plantas de GNL”. Ingeniería energética y de contaminación, S.A. Juan Santos Remesal.*
- *“Plant Design and Economics for Chemical Engineers”. Peters & Timmerhaus”. 4^a Ed. McGraw Hill Chemical Engineering Series. NY 1991.*
- *“Principios de Economía”, Gregory Mankiw, 5^a edición, 2010. Cengage learning. Méjico.*

- *Orden IET/2812/2012 fecha 27/12/2012. Disposición 15767, BOE 314 del 31/12/2012.*
- *Resolución 2876 de 7/03/2013, fecha 26/03/2013. BOE 65 del 16/03/2013.*
- *<http://www.foronuclear.org/> (Anuario energético 2012)*
- *“Infraestructuras de gas natural en la Península Ibérica. Instalaciones existentes y nuevos proyectos”. J. Corrales Pérez. Ingeniería Química, Marzo 2006.*
- *“The World Market for Natural Gas. Implications for Europe”. Andrea Gilardoni. Ed. Springer, 2008.*
- *“Natural Gas. A Basic Handbook”. James G. Speight. Ed. Gulf Publishing Company. USA, 2007.*
- *<http://www.gascan.es>*

9.2 BIBLIOGRAFÍA

- *<http://www.iea.org>*
- *<http://www.gnl.es/recondensacion-gnl.php>*
- *<http://www.osakagas.co.jp/rd/sheet/007e.html>*
- *<http://www.gnlquintero.com/nosotros.htm>*
- *“Handbook of Natural Gas transmission and processing”. Saeid Mokhatab, William A. Poe, James G. Speight. Ed. Gulf Professional Publishing. USA, 2006.*
- *<http://www.saggas.com/caracteristicas-tecnicas/proceso-de-regasificacion/>*
- *<http://www.sedigas.es>*

- <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>
- <http://www.foronuclear.org>
- <http://www.cedigaz.org>
- http://www.repsol.com/es_es/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/
- <http://www.bp.com>
- http://www.prtr-es.es/informes/fichacomplejo.aspx?id_complejo=5040
- <http://www.enagas.es>
- http://www.csocial.ulpgc.es/documentos/8-A_gas.pdf
- <http://www.cepsa.com>

9.3 NORMATIVA REFERENCIADA

- [1] EN 14620. Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, contruidos en el lugar de emplazamiento para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de servicio entre 0 °C y -165 °C.
- [2] EN 1160. Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Características generales del gas natural licuado.
- [3] EN 1473. Instalaciones y equipos para gas natural licuado. Diseño de las instalaciones terrestres.

(El resto de la normativa está incluida en el texto en su apartado correspondiente)

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**INGENIERO TÉCNICO DE MINAS
ESPECIALIDAD EN: RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y
EXPLOSIVOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)

DOCUMENTO Nº 2: ESTUDIO
ECONÓMICO

JUAN SANTOS VILLAREJO

NOVIEMBRE DE 2013

10 PRESUPUESTO

El presupuesto general de la Planta se ha estimado en base a la información existente de otras plantas de similares características, también se han empleado diversas publicaciones de estimación de costes de plantas industriales. El presupuesto está estimado a nivel general correspondiendo con el nivel de definición de los equipos e instalaciones.

En el presupuesto se incluye una columna donde se refleja el porcentaje que representa cada concepto en la cifra total de presupuesto. Este indicador es muy empleado en la etapa de estimación de costes y suele ser muy representativo del valor real del presupuesto.

La inversión prevista en la planta de regasificación, en millones de euros, es la que se indica en la Tabla 14.

CONCEPTOS	Nº UNIDADES	Precio unitario (M€)	Importe (M€)	%
Tanques de almacenamiento de GNL	1	68,58	68,58	44,84
Sistema de bombas primarias	4	0,97	3,88	2,54
Sistema de bombas secundarias	4	0,97	3,88	2,54
Vaporizadores de agua de mar	2	6,42	12,84	8,40
Vaporizadores de combustión sumergida	1	3,67	3,67	2,40
Relicudador Boil-Off	1	0,14	0,14	0,09
Sistema de Compresión de Boil-Off	2	4,18	8,36	5,47
Sistema Antorcha / combustor	1	1,90	1,90	1,24
Otros equipos planta			14,55	9,51
Construcción, montaje y puesta en marcha			18,67	12,20
SUBTOTAL EQUIPOS			136,47	89,23
Ingeniería, seguros, licencias, y preparación de terrenos			16,48	10,77
SUBTOTAL COSTES DE DESARROLLO			16,48	10,77
TOTAL			152,95	100,00

Tabla 14: Inversión prevista en la planta de regasificación

Por tanto, la inversión total prevista es de: 152,95 M€ (CIENTO CINCUENTA Y DOS CON NOVENTA Y CINCO MILLONES DE EUROS).

Este presupuesto se entiende sin impuestos y sin aranceles de importación de equipos.

11 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El estudio de rentabilidad del Proyecto se ha realizado mediante el estudio de tres índices utilizados para analizar la viabilidad de un proyecto de inversión.

Estos tres índices empleados son: la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y el período de retorno.

Como paso previo al cálculo de los flujos de caja asociados al proyecto, que posteriormente permitirán determinar el VAN, TIR y período de retorno, se procederá a determinar los beneficios antes y después de impuestos producidos por la operación de la planta a lo largo de su vida útil.

11.1 IMPUESTO DE SOCIEDADES

Para el cálculo del beneficio después de impuestos habrá que tener en cuenta que el valor del impuesto de sociedades en España es del 35%.

11.2 VALOR ACTUALIZADO NETO

El Valor actual neto también conocido valor actualizado neto (en inglés Net present value), cuyo acrónimo es VAN (en inglés NPV), es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja a futuros, originados por una inversión. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

El método de valor presente es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. La expresión que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Dónde:

V_t : representa los flujos de caja en cada periodo t .

I_0 : es el valor del desembolso inicial de la inversión.

n : es el número de períodos considerado.

El tipo de interés es k . Si el proyecto no tiene riesgo, se tomará como referencia el 5%, habitual en este tipo de proyectos.

Para la obtención de este valor se ha considerado una tasa de descuento del 5% y una vida del proyecto de 25 años.

11.3 CRÉDITO BANCARIO

Para la parte de financiación que se realice con capital ajeno, la empresa solicitante del crédito deberá pagar una anualidad al prestatario de los fondos que vendrá dada por la expresión que se cita a continuación:

$$a = I \cdot \frac{r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Dónde:

r: es el tipo de interés aplicado al capital prestado, expresado en %.

I: es la parte de la inversión financiada con fondos ajenos, expresada en €.

a: es la anualidad a pagar por parte del solicitante de los fondos, expresada en €.

n: vida del préstamo expresada en años.

Mediante este sistema se paga todos los años la misma cantidad, hasta que en el año no queda devuelto, tanto el principal como los intereses.

Para la financiación del proyecto el promotor recurre a un préstamo por el 70% del capital necesario para llevar a cabo la inversión, que suponen 107,07 M€. Este préstamo tiene un período de amortización de 25 años y unos costes financieros asociados equivalentes a un tipo de interés del 5%.

11.4 ANÁLISIS DEL PROYECTO

El proyecto de ejecución de la planta de Granadilla es muy intensivo en capital, requiriendo una inversión total de 152,95 M€. Por este motivo se ha optado por un modelo de financiación con un 30% de capital propio y un 70% de recursos ajenos. Con el fin de cubrir esta necesidad de financiación ajena, se recurre a un préstamo bancario. Suponemos que el promotor de la planta presenta la suficiente solvencia como para que el prestatario del dinero no requiera el pago ni del principal ni de los intereses devengados hasta que el proyecto comience a generar ingresos.

Los ingresos de la planta provendrán del pago por parte de los agentes que suministren gas al sistema canario en concepto de derechos de acceso a la planta de regasificación y se desglosarán en los siguientes conceptos:

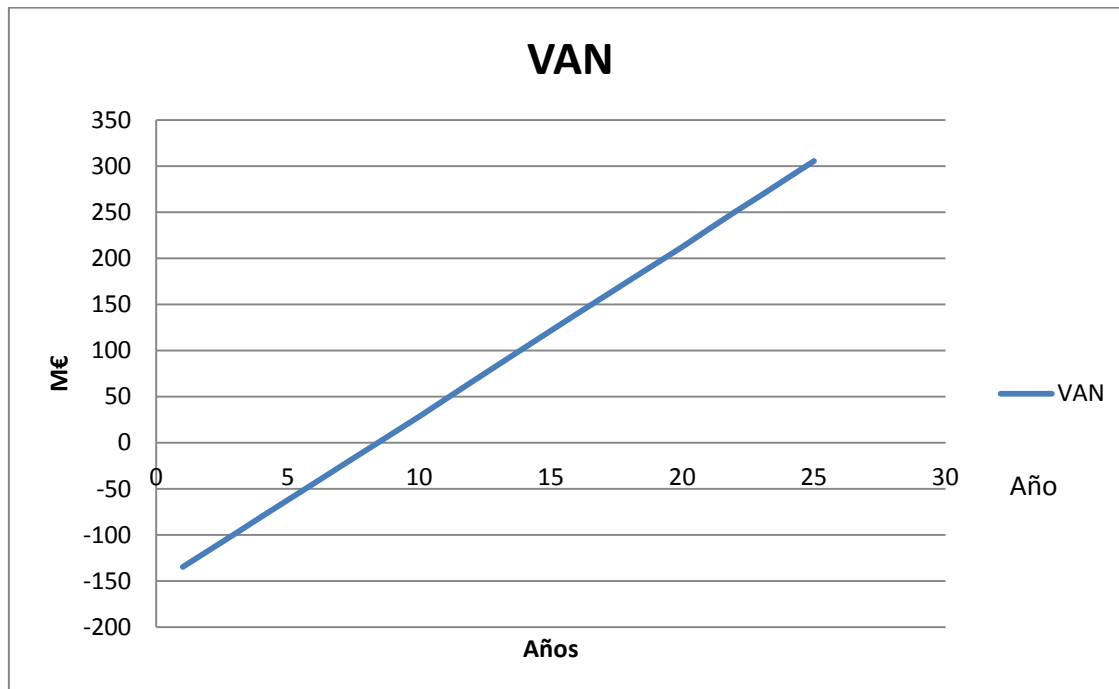
- Pago por reserva de capacidad de regasificación en la terminal.
- Pago por volumen de gas regasificado.
- Pago por volumen de gas almacenado en los tanques de GNL.

Si suponemos que la capacidad de regasificación de la planta se contrata en un 80% y los agentes hacen un uso medio efectivo de su capacidad contratada en un 75%, se obtienen los siguientes resultados:

El VAN del proyecto asciende a 305,48 M€.

Como dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, $VAN > 0$, entonces es recomendable que el proyecto sea aceptado, ya que se ha recuperado la inversión.

Figura 5: Evolución del VAN



El TIR o tasa interna de retorno es el valor de la tasa de interés (T.I.) que hace 0 el VAN y se calcula para toda la vida de la instalación. Se obtiene de la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Dónde:

V_t = Flujo de caja

n = número de periodos

I_0 = Valor de la inversión inicial

En el caso de esta planta, el valor del TIR durante su periodo de vida es de:

$$TIR = 14,95 \%$$

El período de retorno de la inversión es de 7 años. La suma de los cash flow de los siete primeros años es de 155,37 M€.

En la Tabla 15 se muestra el estudio económico.

Cifras en M€	Años	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ingresos previstos		58,96	61,32	63,78	66,33	68,98	71,74	74,61	77,59	80,70	83,92
	Fijos	41,27	42,93	44,64	46,43	48,29	50,22	52,23	54,31	56,49	58,75
	Variables	17,69	18,40	19,13	19,90	20,69	21,52	22,38	23,28	24,21	25,18
Costes operativos		11,60	12,07	12,55	13,05	13,57	14,12	14,68	15,27	15,88	16,51
	Fijos	7,68	7,99	8,31	8,64	8,99	9,35	9,72	10,11	10,51	10,93
	Variables	3,92	4,08	4,24	4,41	4,59	4,77	4,96	5,16	5,37	5,58
EBITDA		47,36	49,26	51,23	53,27	55,41	57,62	59,93	62,32	64,82	67,41
Inversión	Recursos propios										
	Recursos ajenos										
Amortización		9,01	9,01	9,01	9,01	6,14	6,14	6,14	6,14	6,14	6,14
EBIT		38,35	40,25	42,22	44,26	49,27	51,48	53,79	56,18	58,68	61,27
Principal		6,31	6,31	6,31	6,31	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Deuda financiera		3,23	3,23	3,23	3,23	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64	2,64
BAI		35,12	37,01	38,98	41,03	46,63	48,85	51,15	53,55	56,04	58,63
Impuesto sociedades (35%)		12,29	12,96	13,64	14,36	16,32	17,10	17,90	18,74	19,61	20,52
BDI		22,83	24,06	25,34	26,67	30,31	31,75	33,25	34,81	36,43	38,11
CASH FLOW		25,53	26,76	28,04	29,37	32,15	33,59	35,09	36,65	38,27	39,95

Cifras en M€	Años	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Ingresos previstos		87,28	90,77	94,40	98,18	102,11	106,19	110,44	114,86	119,45
	Fijos	61,10	63,54	66,08	68,73	71,47	74,33	77,31	80,40	83,61
	Variables	26,18	27,23	28,32	29,45	30,63	31,86	33,13	34,46	35,83
Costes operativos		17,18	17,86	18,58	19,32	20,09	20,90	21,73	22,60	23,51
	Fijos	11,37	11,82	12,30	12,79	13,30	13,83	14,39	14,96	15,56
	Variables	5,81	6,04	6,28	6,53	6,79	7,06	7,35	7,64	7,94
EBITDA		70,11	72,91	75,83	78,86	82,01	85,29	88,71	92,25	95,94
Inversión										
	Recursos propios									
	Recursos ajenos									
Amortización		6,14	5,26	5,26	5,26	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
EBIT		63,97	67,65	70,57	73,60	81,20	84,48	87,90	91,44	95,13
Principal		4,3	3,68	3,68	3,68	0,57	0,57	0,57	0,57	0,57
Deuda financiera		2,64	2,32	2,32	2,32	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
BAI		61,33	65,33	68,24	71,28	80,76	84,04	87,45	91,00	94,69
Impuesto sociedades (35%)		21,47	22,86	23,89	24,95	28,27	29,41	30,61	31,85	33,14
BDI		39,86	42,46	44,36	46,33	52,49	54,63	56,84	59,15	61,55
CASH FLOW		41,70	44,04	45,94	47,91	52,73	54,87	57,08	59,39	61,79

EBITDA: Earnings before interests, taxes, depreciation and amortization EBIT: Earnings before interests and taxes BAI: Beneficio antes de impuestos BDI: Beneficio después de impuestos

Tabla 15: Estudio Económico

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**INGENIERO TÉCNICO DE MINAS
ESPECIALIDAD EN: RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y
EXPLOSIVOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)

DOCUMENTO N° 3: PLIEGO DE
CONDICIONES

JUAN SANTOS VILLAREJO

NOVIEMBRE DE 2013

12 PLIEGO GENERAL DE CONDICIONES

12.1 DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. Naturaleza y objeto del pliego general.

El presente Pliego General de Condiciones tiene un carácter supletorio del Pliego de Condiciones del Estudio de Seguridad y Salud.

Ambos, como parte del proyecto, tienen por finalidad regular la ejecución de las obras derivadas de la planta de regasificación de Gas Natural Licuado de Tenerife, fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al Promotor o dueño de la obra, al Contratista o constructor de la misma, sus técnicos o encargados, y al técnico Director de obra, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

Las obras accesorias, entendiendo por este nombre las que no pueden ser previstas en todos sus detalles, se construirán conforme vaya surgiendo la necesidad. Cuando su importancia lo exija, se realizarán proyectos adicionales que las definan. En casos de menor importancia, se seguirán las directrices que disponga el Director de obra.

Artículo 2. Documentación del contrato de obra.

Integran el contrato los siguientes documentos relacionados por orden de prelación en cuanto al valor de sus especificaciones en caso de omisión o aparente contradicción:

- Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de empresa o arrendamiento de obra, si existiere.

- El Pliego de Condiciones particulares.
- El presente Pliego General de Condiciones.
- El resto de la documentación del Proyecto (memoria, planos, mediciones y presupuesto).

Las órdenes e instrucciones de la Dirección facultativa de las obras se incorporan al Proyecto como interpretación, complemento o precisión de sus determinaciones.

En cada documento, las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas y en los planos, la cota prevalece sobre la medida a escala.

12.2 CONDICIONES FACULTATIVAS

12.2.1 EPÍGRAFE 1: DELIMITACIÓN GENERAL DE FUNCIONES TÉCNICAS

Artículo 3. El director de obra.

La junta rectora de la Propiedad designará al Ingeniero Técnico Director de Obra, representante de la propiedad frente al contratista, en quien recaerán las siguientes funciones:

- Planificar, a la vista del proyecto, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de las obras.
- Redactar, cuando se requiera expresamente por el constructor, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el plan de seguridad e higiene para la aplicación del mismo.

- Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del Constructor.
- Comprobar la adecuación de la cimentación proyectada a las características reales del suelo.
- Ordenar, dirigir y vigilar la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de buena construcción.
- Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan e impartir las instrucciones complementarias que sean precisas para conseguir la correcta solución.
- Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su caso, concurran a la dirección con función propia en aspectos parciales de su especialidad.
- Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra según las frecuencias de muestreo programadas en el plan de control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva, de acuerdo con el proyecto y la normativa técnica aplicable. De los resultados informará puntualmente al constructor, impartiendo en su caso, las órdenes oportunas.
- Realizar las mediciones de obra ejecutada, realizar y aprobar las certificaciones parciales, realizar y aprobar la certificación final de obra, y asesorar al promotor en el acto de la recepción.
- Suscribir el certificado final de obra.

Artículo 4. El constructor.

El Constructor o Contratista habrá de proporcionar toda clase de facilidades al Director de obra, o a sus subalternos a fin de que estos puedan desempeñar su trabajo con la máxima eficacia. Específicamente corresponde al Constructor:

- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- Elaborar, cuando se requiera, el Plan de Seguridad e Higiene de la obra en aplicación del estudio correspondiente y disponer en todo caso la ejecución de medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observación de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.
- Suscribir con el Director de Obra el acta de replanteo de la obra.
- Ostentar la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas.
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o prescripción del Director de Obra, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Custodiar el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.
- Facilitar al Director de Obra con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.

- Suscribir con el Promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.

Artículo 5. Verificación de los documentos del proyecto.

Antes de dar comienzo a las obras e inmediatamente después de recibidos, el Constructor deberá confrontar la documentación relacionada con el proyecto que le haya sido aportada y deberá informar con la mayor brevedad posible al Director de las Obras sobre cualquier discrepancia, contradicción u omisión solicitando las aclaraciones pertinentes.

Artículo 6. Plan de seguridad e higiene.

El Constructor, a la vista del Proyecto de Ejecución conteniendo, en su caso, el Estudio de Seguridad e Higiene, presentará el Plan de Seguridad e Higiene de la obra a la aprobación del Director de Obra de la dirección facultativa.

Artículo 7. Oficina en la obra.

El Constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el Contratista a disposición del Director de Obra de la Dirección Facultativa:

- El proyecto de Ejecución completo, incluidos los complementos que en su caso redacte el Ingeniero proyectista o Director de Obra.
- La Licencia de Obras.
- El libro de Órdenes y Asistencias.

- El Plan de Seguridad e Higiene.
- El libro de incidencias.
- El Reglamento y Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- La documentación de los seguros mencionada en el artículo 4º.
- Dispondrá además el Constructor una oficina para la Dirección Facultativa, convenientemente acondicionada para que en ella se pueda trabajar con normalidad a cualquier hora de la jornada.

Artículo 8. Presentación del contratista.

El Constructor viene obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la obra, que tendrá carácter de Jefe de la misma, con dedicación plena, y con facultades para representarle y adoptar en todo momento cuantas decisiones competan a la contrata.

Serán sus funciones las del Constructor según se especifica en el artículo 4º.

Cuando la importancia de las obras lo requiera y así se consigne en el Pliego de "Condiciones Particulares de Índole Facultativa", el Delegado del Contratista será un facultativo de grado superior o grado medio, según los casos.

El Pliego de Condiciones Particulares determinará el personal facultativo o especialista que el Constructor se obligue a mantener en la obra como mínimo, y el tiempo de dedicación comprometido. El incumplimiento de esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficiente por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al Director de Obra para ordenar la paralización de las obras, sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

Artículo 9. Presencia del constructor en la obra.

El Jefe de obra, por sí o por medio de sus técnicos o encargados, deberá estar presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de obra en las visitas que haga a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándoles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

Artículo 10. Trabajos no estipulados expresamente.

Es obligación de la contrata el ejecutar cuando sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aún cuando no se halle expresamente determinado en los documentos del Proyecto, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el Director de obra dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos habiliten para cada unidad de obra y tipo de ejecución.

En defecto de especificación en el Pliego de Condiciones particulares, se entenderá que requiere reformado de proyecto con consentimiento expreso de la propiedad, toda variación que suponga incremento de precios de alguna unidad de obra en más del 20 % o del total del presupuesto en más de un 10 %.

Artículo 11. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o croquis, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al Constructor, estando éste obligado a su vez a devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba del Director de obra. Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos crea oportuno hacer el Constructor, habrá de dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiere dictado, el cual dará al Constructor el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

Artículo 12. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.

El Constructor podrá requerir al Director de Obra las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

Artículo 13. Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa.

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes o instrucciones dimanadas de la Dirección Facultativa, sólo podrá presentarlas, a través del Director de obra, ante la propiedad, si son de orden económico y de acuerdo a las condiciones estipuladas en los Pliegos de Condiciones correspondientes. Contra disposiciones de orden técnico del Ingeniero Técnico Director de obra, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al Director de obra, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

Artículo 14. Recusación por el contratista del personal nombrado por el director de obra.

El Constructor no podrá recusar al Director de obra o personal encargado por éstos de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones.

Cuando se crea perjudicado por la labor de éstos, procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente, pero son que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

Artículo 15. Faltas del personal.

El Director de obra, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha

de los trabajos, podrá requerir al Contratista que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

Artículo 16. Faltas del personal.

El Contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, con sujeción en su caso a lo estipulado en el Pliego de Condiciones particulares, y sin perjuicio de sus obligaciones como Contratista general de la obra.

12.2.2 EPÍGRAFE 2: PRESCRIPCIONES GENERALES RELATIVAS A LOS TRABAJOS, A LOS MATERIALES Y A LOS MEDIOS AUXILIARES

Artículo 17. Caminos y accesos.

El Constructor dispondrá por su cuenta los accesos a la obra y el cerramiento o vallado de ésta. El Director de obra podrá exigir su modificación o mejora.

Artículo 18. Replanteo.

Antes de dar comienzo las obras, el Ingeniero Director, junto al personal subalterno necesario y en presencia del Contratista o su representante, procederá al replanteo general de la obra. El Constructor se hará cargo de las estacas, señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo iniciará las obras con el replanteo de las mismas en el terreno, señalando las referencias principales que mantendrá como base de ulteriores replanteos parciales. Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta.

El Director podrá ejecutar u ordenar cuantos replanteos parciales considere necesarios durante el periodo de construcción para que las obras se realicen conforme al proyecto y a las modificaciones del mismo que sean aprobadas.

Artículo 19. Comienzo de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos.

El Constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el Pliego de Condiciones particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los periodos parciales en aquel ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el Contrato.

Obligatoriamente y por escrito deberá el contratista dar cuenta al Director de Obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

Artículos 20. Orden de los trabajos.

En general, la determinación del orden de los trabajos será compatible con los plazos programados y es facultad de la contrata, salvo aquellos casos en que, por circunstancias de orden técnico, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

Artículo 21. Facilidades para otros contratistas.

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista General deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que les sean encomendados a todos los demás contratistas que intervengan en la obra. Ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar entre Contratistas por utilización de medios auxiliares o suministros de energía u otros conceptos.

En caso de litigio, ambos contratistas estarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

Artículo 22. Ampliación de proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor.

Cuando sea preciso por motivo imprevisto o por cualquier accidente ampliar el Proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándose siguiendo una recta interpretación del proyecto y según las instrucciones dadas por el Director de obra, en tanto se formula o tramita el Proyecto Reformado.

El Constructor está obligado a realizar con su personal y sus materiales cuanto la Dirección de las obras disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalzos o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

Artículo 23. Prórroga por causa de fuerza mayor.

Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del Constructor, éste no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable del Director de Obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

Artículo 24. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra.

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de las obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se lo hubiesen proporcionado.

Artículo 25. Condiciones generales de ejecución de los trabajos.

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entregue el Director de Obra al Constructor, dentro de las limitaciones presupuestarias y de conformidad con lo especificado en el artículo 10.

Artículo 26. Obras ocultas.

De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado, entregándose una al Director de obra, otro al Promotor y otro al Contratista, firmados todos ellos por los tres. Dichos planos, que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

Artículo 27. Trabajos defectuosos.

El Constructor debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en las "Condiciones Generales y Particulares de índole técnica" del Pliego de Condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en éstos puedan existir por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que le exonere de responsabilidad el control que compete al Director de obra, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las certificaciones parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos, y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata.

Artículo 28. Vicios ocultos.

Si el Director de obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo, y antes de la recepción definitiva, los ensayos, destructivos o no, que crea necesarios para reconocer los trabajos que suponga defectuosos.

Los gastos que se ocasionen serán de cuenta del Constructor, siempre que los vicios existan realmente. En caso contrario serán a cargo de la Propiedad.

Artículo 29. De los materiales y de los aparatos. Su procedencia.

El Constructor tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el Pliego Particular de Condiciones Técnicas preceptúe una procedencia determinada.

Todos los materiales serán de la mejor calidad y su colocación será perfecta. Tendrán las dimensiones que marquen los documentos del Proyecto y la Dirección Facultativa.

El transporte, manipulación y empleo de los materiales se hará de manera que no queden alteradas sus características ni sufran deterioro sus formas o dimensiones. Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo o acopio, el Constructor deberá presentar al Director de obra una lista completa de los materiales y aparatos que vaya a utilizar en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

Artículo 30. Presentación de muestras.

A petición del Director de obra, el constructor le presentará las muestras de los materiales antes de sin cuya aprobación no podrán utilizarse en la construcción.

Artículo 31. Materiales no utilizables.

El Constructor, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente y en el lugar adecuado, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra.

Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero, cuando así estuviese establecido en el Pliego de Condiciones Particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene el Director de Obra, pero acordando previamente con el Constructor su justa tasación, teniendo en cuenta el valor de dichos materiales y los gastos de su transporte.

Artículo 32. Materiales y aparatos defectuosos.

Cuando los materiales, elementos de instalaciones o aparatos no fuesen de la calidad prescrita en este Pliego, o no tuvieran la preparación en él exigida o, en fin, cuando ante la falta de prescripciones formales de aquel se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, el Director de obra dará orden al Constructor de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o llenen el objeto a que se destinen.

Si a los quince días de recibir el Constructor orden de que retire los materiales que no estén en condiciones, no ha sido cumplida, podrá hacerlo la Propiedad cargando los gastos a la Contrata.

Si los materiales, elementos de instalaciones o aparatos fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de obra, se recibirán pero con la rebaja del precio de aquel que determine, a no ser que el Constructor prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

Artículo 33. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos.

Todas las pruebas, análisis y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras serán verificados conforme indique el director de obra y serán de cuenta de la contrata todos los gastos que ello origine. Se incluye el coste de los materiales que se ha de ensayar, la mano de obra, herramientas, transporte, gastos de toma de muestras, minutas de laboratorio, tasas, etc.

Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las garantías suficientes, podrá comenzarse de nuevo a cargo del mismo.

Artículo 34. Limpieza de las obras.

Es obligación del Constructor mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de material sobrante, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra ofrezca buen aspecto.

Artículo 35. Obras sin prescripciones.

En la ejecución de trabajos que entran en la construcción de las obras y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en éste Pliego ni en la restante documentación del Proyecto, el Constructor se atenderá, en primer término, a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las reglas y prácticas de la buena construcción.

12.2.3 EPÍGRAFE 3: DE LAS RECEPCIONES DE EDIFICIOS Y OBRAS ANEJAS

Artículo 36. De las recepciones provisionales.

Treinta días antes de dar fin a las obras, comunicará el Director de obra a la Propiedad la proximidad de su terminación a fin de convenir la fecha para el acto de recepción provisional.

Esta se realizará con la intervención de la Propiedad, del Constructor y del Director de obra. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicado un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como participantes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas. Seguidamente, los Técnicos de la Dirección Facultativa extenderán el correspondiente Certificado de final de obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se darán al Constructor las oportunas instrucciones para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Si el Constructor no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato, con pérdida de la fianza.

Artículo 37. Documentación final de la obra.

El Director de obra facilitará a la Propiedad la documentación final de las obras, con las especificaciones y contenido dispuestos por la legislación vigente.

Artículo 38. Medición definitiva de los trabajos y liquidación provisional de la obra.

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el Director de obra a su medición definitiva, con precisa asistencia del Constructor o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que servirá para el abono por la Propiedad del saldo resultante salvo la cantidad retenida en concepto de fianza.

Artículo 39. Plazo de garantía.

El plazo de garantía deberá estipularse en el Pliego de Condiciones particulares y en cualquier caso nunca deberá ser inferior a nueve meses.

Artículo 40. Conservación de las obras recibidas provisionalmente.

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo del Contratista.

Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza y reparaciones causadas por uso corriente correrán a cargo del propietario y las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo de la contrata.

Artículo 41. De la recepción definitiva.

La recepción definitiva se verificará después de transcurrido el plazo de garantía en igual forma y con las mismas formalidades que la provisional, a partir de cuya fecha cesará la obligación del Constructor de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la normal conservación de los edificios y quedarán solo subsistentes todas responsabilidades que pudieran alcanzarle por vicios de la construcción.

Artículo 42. Prórroga del plazo de garantía.

Si al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el Director de obra marcará al Constructor los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias y, de no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con la pérdida de la fianza.

Artículo 43. De las recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida.

En el caso de resolución del contrato, el Contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo que se fije en el Pliego de Condiciones particulares, la maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa.

Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos en el artículo 34. Transcurrido el plazo de garantía se recibirán de forma definitiva, según lo dispuesto en los artículos 38 y 39 de este Pliego.

Para las obras y trabajos no terminados pero aceptables a juicio del Director de obra, se efectuará una sola y definitiva recepción.

12.3 CONDICIONES GENERALES

12.3.1 EPÍGRAFE 1: PRINCIPIOS GENERALES

Artículo 44. Principio general.

Todos los que intervienen el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

Artículo 45. Principio general.

La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

12.3.2 EPÍGRAFE 2: FIANZAS**Artículo 46. Fianzas.**

El Contratista prestará fianza con arreglo a alguno de los siguientes procedimientos, según se estipule:

- Depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario, por importe entre el 3 % y 10 % del precio total de la contrata.
- Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

Artículo 47 Fianza provisional.

En el caso de que la obra se adjudique por subasta pública, el depósito provisional para tomar parte en ella se especificará en el anuncio de la misma, y su cuantía será de ordinario, y salvo estipulación distinta en el Pliego de Condiciones particulares vigente en la obra, de un 3 % como mínimo, del total del presupuesto de contrata.

El Contratista a quien se haya adjudicado la ejecución de una obra o servicio para la misma, deberá depositar en el punto y plazo fijados en el anuncio de la subasta o el que se determine en el Pliego de Condiciones particulares del Proyecto, la fianza definitiva que se señale y, en su defecto, su importe será el 10 % de la cantidad por la que se haga la adjudicación de la obra, fianza que puede constituirse en cualquiera de las formas especificados en el apartado anterior.

El plazo señalado en el párrafo anterior, y salvo condición expresa establecida en el Pliego de Condiciones particulares, no excederá de treinta días naturales a partir de la fecha en que se le comunique la adjudicación, y dentro de él deberá presentar el adjudicatario la carta de pago o recibido que acredite la constitución de la fianza a que se refiere el mismo párrafo.

La falta de cumplimiento de este requisito dará lugar a que se declare nula la adjudicación, y el adjudicatario perderá el depósito provisional que hubiese hecho para tomar parte en la subasta.

Artículo 48. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de obra, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

Artículo 49. De su devolución en general.

La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de treinta días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. La Propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos.

Artículo 50. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales.

Si la Propiedad, con la conformidad del Director de obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

12.3.3 EPÍGRAFE 3: DE LOS PRECIOS

Artículo 51. Composición de precios unitarios.

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

Se considerarán costes directos

- La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.
- Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.
- Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.
- Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos anteriormente citados.

Se considerarán costes indirectos

- Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorios, seguros, etc.,
- Los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos.

Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

Se considerarán gastos generales

Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidos. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos (en los contratos de obras de la Administración pública este porcentaje se establece entre un 13 y un 17 %).

Beneficio industrial

El beneficio industrial del Contratista se establece en el 6 % sobre la suma de las anteriores partidas.

Precio de Ejecución material

Se denomina Precio de Ejecución material el resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción del Beneficio Industrial.

Precio de Contrata

El precio de Contrata es la suma de los costes directos, indirectos, los Gastos Generales y el Beneficio Industrial. El IVA gira sobre esta suma pero no integra el precio.

Artículo 52. Precio de contrata. Importe de contrata.

En el caso de que los trabajos a realizar en un edificio u obra aneja cualquiera se contratasen a riesgo y ventura, se entiende por Precio de contrata el que importa el coste total de la unidad de obra, es decir, el precio de Ejecución material, más el tanto por ciento sobre este último precio en concepto de Beneficio Industrial del Contratista. El beneficio se estima normalmente, en 6 %, salvo que en las condiciones particulares se establezca otro distinto.

Artículo 53. Precios contradictorios.

Se producirán precios contradictorios sólo cuando la Propiedad por medio del Director de obra decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El Contratista estará obligado a efectuar los cambios.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que se determine en el Pliego de Condiciones particulares, siempre teniendo en cuenta la descomposición de precios del cuadro correspondiente. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

Artículo 54. Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas.

Si el Contratista, antes de la firma del contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras (con referencia a Facultativas).

Artículo 55. Formas tradicionales de medir o de aplicar precios.

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas, se estará a lo previsto en primer lugar, al Pliego General de Condiciones Particulares.

Artículo 56. De la revisión de los precios contratados.

Contratándose las obras a riesgo y ventura, no se admitirá la revisión de los precios en tanto que el incremento no alcance, en la suma de las unidades que falten por realizar de acuerdo con el Calendario, un montante superior al 3% del importe del presupuesto de Contrato.

Caso de producirse variaciones en alza superiores a este porcentaje, se efectuará la correspondiente revisión de acuerdo con la fórmula establecida en el Pliego de Condiciones Particulares, percibiendo el Contratista la diferencia en más que resulte por la variación del IPC superior al 3 %.

No habrá revisión de precios de las unidades que puedan quedar fuera de los plazos fijados en el Calendario de la oferta.

Artículo 57. Acopio de materiales.

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que la Propiedad ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el Propietario, son de la exclusiva propiedad de ésta; de su guarda y conservación será responsable el Contratista.

12.3.4 EPÍGRAFE 4: OBRAS POR ADMINISTRACIÓN**Artículo 58. Administración.**

Se denominan "Obras por Administración" aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el propietario, bien por sí o por un representante suyo o bien por mediación de un constructor.

Las obras por administración se clasifican en las dos modalidades siguientes:

- Obras por administración directa.
- Obras por administración delegada o indirecta.

Artículo 59. Obras por administración directa.

Se denominan "Obras por Administración Directa" aquellas en las que el Propietario por sí o por mediación de un representante suyo, que puede ser el propio Director de obra, expresamente autorizado a estos efectos, lleve directamente las gestiones precisas para la ejecución de la obra, adquiriendo los materiales, contratando su transporte a la obra y, en suma, interviniendo directamente en todas las operaciones precisas para que el personal y los obreros contratados por él puedan realizarla; en estas obras el constructor, si lo hubiese, o el encargado de su realización, es un mero dependiente del propietario, ya sea como empleado suyo o como autónomo contratado por él, que es quién reúne en sí, por tanto, la doble personalidad de Propietario y Contratista.

Artículo 60. Obras por administración delegada o indirecta.

Se entiende por "Obras de Administración Delegada o Indirecta" la que conviene un Propietario y un Constructor para que éste, por cuenta de aquel y como delegado suyo, realice las gestiones y los trabajos que se precisen y se convengan.

Son por tanto, características peculiares de las "Obras por Administración Delegada o Indirecta" las siguientes:

- Por parte del Propietario, la obligación de abonar directamente o por mediación del Constructor todos los gastos inherentes a la realización de los trabajos convenidos reservándose el Propietario la facultad de poder ordenar, bien por sí o por medio del Director de obra en su representación, el orden o la marcha de los trabajos, la elección de los materiales y los aparatos que en los trabajos han de emplearse y, en suma, todos los elementos que crea preciso para regular la realización de los trabajos convenidos.

- Por parte del Constructor, la obligación de llevar la gestión práctica de los trabajos, aportando sus conocimientos constructivos, los medios auxiliares precisos y, en suma, todo lo que, en armonía con su cometido, se requiera para la ejecución de los trabajos, percibiendo por ello del Propietario un tanto por ciento prefijado sobre el importe total de los gastos efectuados y abonados por el Constructor.

Artículo 61. Liquidación de obras por administración.

Para la liquidación de los trabajos que se ejecuten por administración delegada o indirecta, regirán las normas que a tales fines se establezcan en las "Condiciones particulares de índole económica" vigentes en la obra; a falta de ellas, las cuentas de administración las presentará el Constructor al Propietario, en relación valorada a la que deberá acompañarse y agrupados en el orden que se expresan los documentos siguientes todos ellos conformados por el Director de obra:

- Las facturas originales de los materiales adquiridos para los trabajos y el documento adecuado que justifique el depósito o el empleo de dichos materiales en la obra.
- Las nóminas de los jornales abonados, ajustadas a lo establecido en la legislación vigente, especificando el número de horas trabajadas en la obra por los operarios de cada oficio y su categoría, acompañando a dichas nóminas una relación numérica de los encargados, capataces, jefes de equipo, oficiales y ayudantes de cada oficio, peones especializados y sueltos, listeros, guardas, etc., que hayan trabajado en la obra durante el plazo de tiempo a que correspondan las nóminas que se presentan.
- Las facturas originales de los transportes de materiales puestos en la obra o de retirada de escombros.

- Los recibos de licencias, impuestos y demás cargas inherentes a la obra que haya pagado o en cuya gestión haya intervenido el Constructor, ya que su abono es siempre a cuenta del Propietario.

A la suma de todos los gastos inherentes a la propia obra en cuya gestión o pago haya intervenido el Constructor se le aplicará, a falta de convenio especial, un quince por ciento (15 %), entendiéndose que en este porcentaje están incluidos los medios auxiliares y los de seguridad preventivos de accidentes, los Gastos Generales que al Constructor originen los trabajos por administración que realiza y el Beneficio Industrial del mismo.

Artículo 62. Abono al constructor de las cuentas de administración delegada.

Salvo pacto distinto, los abonos al Constructor de las cuentas de Administración delegada los realizará el Propietario mensualmente según las partes de trabajos realizados aprobados por el Propietario o por su delegado representante.

Independientemente, el Director de obra redactará, con igual periodicidad, la mediación de la obra realizada, valorándola con arreglo al presupuesto aprobado. Estas valoraciones no tendrán efectos para los abonos al Constructor salvo que se hubiese pactado lo contrario contractualmente.

Artículo 63. Normas para la adquisición de los materiales y aparatos.

No obstante las facultades que en estos trabajos por Administración delegada se reserva el Propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si al Constructor se le autoriza para gestionarlos y adquiridos, deberán presentar al Propietario para la adquisición de los materiales y aparatos, si al Constructor se le autoriza para gestionarlos y adquirirlos, deberá presentar al Propietario, o en su representación al Director de obra, los precios y las muestras de los materiales y aparatos ofrecidos, necesitando su previa aprobación antes de adquirirlos.

Artículo 64. Responsabilidad del constructor en el bajo rendimiento de los obreros.

Si de los partes mensuales de obra ejecutada que preceptivamente debe presentar el Constructor al Director de obra, éste advirtiese que los rendimientos de la mano de obra, en todas o en algunas de las unidades de obra ejecutada, fuesen notoriamente inferiores a los rendimientos normales generalmente admitidos para unidades de obra iguales o similares, se lo notificará por escrito al Constructor, con el fin de que éste haga las gestiones precisas para aumentar la producción en la cuantía señalada por el Director de obra.

Si hecha notificación al Constructor, en los meses sucesivos, los rendimientos no llegasen a los normales, el Propietario que da facultado para resarcirse de la diferencia, rebajando su importe de 15 % que por los conceptos antes expresados correspondería abonarle al Constructor en las liquidaciones quincenales que preceptivamente deban efectuársele. En caso de no llegar ambas partes a un acuerdo en cuanto a los rendimientos de la mano de obra, se someterá el caso a arbitraje.

Artículo 65. Responsabilidades del constructor.

En los trabajos de "Obras por Administración delegada", el Constructor solo será responsable de los defectos constructivos que pudieran tener los trabajos o unidades por el ejecutadas y también de los accidentes o perjuicios que pudieran sobrevenir a los obreros o a terceras personas por no haber tomado las medidas precisas que en las disposiciones legales vigentes se establecen. En cambio, y salvo lo expresado en el artículo 62 precedente, no será responsable del mal resultado que pudiesen dar los materiales y aparatos elegidos con arreglo a las normas establecidas en dicho artículo.

En virtud de lo anteriormente consignado, el Constructor está obligado a reparar por su cuenta los trabajos defectuosos y a responder también de los accidentes o perjuicios expresados en el párrafo anterior.

12.3.5 EPÍGRAFE 5: DE LA VALORACIÓN Y ABONOS DE LOS TRABAJOS

Artículo 66. Formas varias de abono de las obras.

Según la modalidad elegida para la contratación de las obras y salvo que en el Pliego Particular de Condiciones Económicas, se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos se efectuará de la siguiente manera:

- Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de baja efectuada por el adjudicatario.
- Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas.

Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, se abonará al contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el Proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.

- Tanto variable por unidad de obra, según las condiciones en que se realice y los materiales autorizados en la forma que el presente "Pliego General de Condiciones Económicas" determina. Se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.
- Por listas de jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el presente "Pliego General de Condiciones Económicas" determina.
- Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el Contrato.

Artículo 67. Relaciones valoradas y certificaciones.

En cada una de las épocas o fechas que se fijen en el contrato o en los "Pliegos de Condiciones Particulares" que rijan en la obra, formará con Contratista una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos, según la medición que habrá practicado el Director de obra. Lo ejecutado por el Contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando al resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderal, o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo presente además lo establecido en el presente "Pliego General de Condiciones Económicas", respecto a mejoras o sustituciones de material y a las obras accesorias y especiales, etc.

Al Contratista, que podrá presenciar las mediciones necesarias para extender dicha relación, se le facilitarán por el Director de obra los datos correspondientes de la relación valorada, acompañándolos de una nota de envío, al objeto de que, dentro del plazo de diez días a partir de la fecha del recibo de dicha nota, pueda el Contratista examinarlos o devolverlos firmados con su conformidad o hacer, en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas. Dentro de los diez días siguientes a su recibo, el Director de obra aceptará o rechazará las reclamaciones del Contratista si las hubiera, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución del Director de obra en la forma prevenida en los "Pliegos Generales de Condiciones Facultativas y Legales".

Tomando como base la relación valorada indicada en el párrafo anterior, expedirá el Director de obra la certificación de las ejecutadas.

De su importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificarse hasta el noventa por ciento de su importe, a los precios que figuren en los documentos del Proyecto, sin afectarlos del tanto por ciento de la contrata.

Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al periodo a que se refieren y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden. Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. En el caso de que el Director de obra lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

Artículo 68. Mejoras de obras libremente ejecutadas.

Cuando el Contratista, incluso con autorización del Director de obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el Proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquiera otra modificación que sea beneficiosa a juicio del Director de obra, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

Artículo 69. Abono de trabajos presupuestados con partidaalzada.

Salvo lo preceptuado en el "Pliego de Condiciones Particulares de Índole Económica" vigente en la obra, el abono de los trabajos presupuestados en partidaalzada, se efectuará de acuerdo con el procedimiento que corresponda entre los que a continuación se expresan:

- Si existiesen precios contratados para unidades de obra iguales, las presupuestadas mediante partidaalzada, se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.
- Si existiesen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partidaalzada, deducidos de los similares contratados.
- Si no existiesen precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partidaalzada se abonará íntegramente al Contratista, salvo el caso de que en el

Presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso, el Director de obra indicará al Contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que ha de seguirse para llevar dicha cuenta, que en realidad será de Administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el Presupuesto aprobado o, en su defecto, a los que con anterioridad a la ejecución convengan las dos partes, incrementándose su importe total con el porcentaje que se fije en el Pliego de Condiciones Particulares de Gastos Generales y Beneficio Industrial del Contratista.

Artículo 70. Abono de agotamientos y otros trabajos especiales no contratados.

Cuando fuese preciso efectuar agotamientos, inyecciones u otra clase de trabajos de cualquiera índole especial u ordinaria, que por no estar contratados no sean de cuenta del Contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por el Propietario por separado de la contrata.

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará juntamente con ellos el tanto por ciento del importe total que, en su caso, se especifique en el Pliego de Condiciones Particulares.

Artículo 71. Pagos.

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra conformadas por el Director de obra, en virtud de las cuales se verificarán aquellos.

Artículo 72. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía.

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

- Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Director de obra exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonado de acuerdo con lo establecido en los "Pliegos Particulares" o en su defecto en los Generales, en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización; en caso contrario, se aplicarán estos últimos.
- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por no haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el Propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.
- Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al Contratista.

12.3.6 EPÍGRAFE 6: DE LAS INDEMNIZACIONES MUTUAS

Artículo 73. Importe de la indemnización por retraso no justificado en el plazo de terminación de las obras.

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un tanto por mil del importe total de los trabajos contratados, por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el Calendario de obra.

Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

Artículo 74. Demora de los pagos.

Si el Propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponde el plazo convenido, el Contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de un 4'5 % anual, en concepto de interese de demora,

durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo de un mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el Contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

No obstante lo anteriormente expuesto, se rechazará toda solicitud de resolución del contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra o en materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

12.3.7 EPÍGRAFE 7: VARIOS

Artículo 75. Mejoras y aumentos de obra. Casos contrarios.

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el Director de obra haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, a menos que el Director de obra ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o aparatos ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el Director de obra introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratada.

Artículo 76. Unidades de obra defectuosas pero aceptables.

Cuando por cualquier causa fuera menester valorar obra defectuosa, pero aceptable a juicio del Director de obra, éste determinará el precio de partida de abono después de oír al Contratista, el cual deberá conformarse con dicha resolución, salvo el caso en que, estando dentro del plazo de ejecución, prefiera demoler la obra y rehacerla con arreglo a condiciones, sin exceder de dicho plazo.

Artículo 77. Seguro de las obras.

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados. El importe abonado por la Sociedad Aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará en cuanto a nombre del Propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando.

El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecho en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada; la infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda resolver el contrato, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero sólo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Director de obra.

En las obras de reforma o reparación, se fijarán previamente la porción de edificio que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se prevé, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de Seguros, los pondrá el Contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del Propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

Artículo 78. Conservación de la obra.

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el Propietario antes de la recepción definitiva, el Director de obra, en representación del Propietario, podrá disponer todo lo que sea preciso para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la contrata. Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el Director de obra señale.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del edificio corra a cargo del contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra, durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente "Pliego de Condiciones Económicas".

Artículo 79. Uso por el contratista de edificio o bienes del propietario.

Cuando durante la ejecución de las obras ocupe el Contratista, con la necesaria y previa autorización del Propietario, edificios o haga uso de materiales o útiles pertenecientes al mismo, tendrá la obligación de repararlos y conservarlos para hacer entrega de ellos a la terminación del contrato, en derecho a indemnización por esta

reposición ni por las mejoras hechas en los edificios, propiedades o materiales que haya utilizado.

En el caso de que al terminar el contrato y hacer entrega del material, propiedades o edificaciones, no hubiese cumplido el Contratista con lo previsto en el párrafo anterior, lo realizará el Propietario a costa de aquel y con cargo a la fianza.

Artículo 80.

Se tendrán en cuenta las siguientes disposiciones:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales del Ministerio de Obras Públicas.
- Normas Básicas y Generales de la Edificación.
- Ley de Contratos del Estado (D 923/1965).
- Instrucción EHE para el proyecto de ejecución de obras de hormigón en masa o armado.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y normas MIBT complementarias.

13 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

13.1 PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE TÉCNICA

13.1.1 DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Artículo 1.- CEMENTO.

El cemento deberá cumplir las condiciones exigidas por el "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la recepción de cemento" (RC-97), y normas EHIB. Será de una acreditada marca, debiendo recibirse en obra en los mismos envases en que fue expedido en fábrica y se almacenará en sitio donde no haya humedad, de forma que permita el fácil acceso para la adecuada inspección o identificación de cada remesa. Se emplearán los tipos P-250 y P-350, siempre que las características del terreno y del agua de hormigonado lo permitan. En caso contrario se emplearán cementos adecuados para cada ambiente, que proporcionen resistencias similares, y que deberán ser aprobados por el Director de las obras, previa realización de las series completas o reducidas de ensayos que prescriba.

Artículo 2.- AGUA.

El agua que se emplee en la confección y curado de los morteros será potable, no admitiéndose aguas que no cumplan las siguientes condiciones:

- pH comprendido entre 5 y 8.
- Sustancias solubles en cantidad inferior a quince gramos por litro.
- Contenido en sulfatos, expresados en $(SO_4)^{2-}$ inferior a un gramo por litro.
- No existencia de hidratos de carbono, ni aún en cantidades mínimas.

- Grasas y aceites en cantidad inferior a quince gramos por litro.

Artículo 3.- ÁRIDOS.

Los áridos a emplear en morteros y hormigones serán productos obtenidos por la clasificación de arenas y granos existentes en yacimientos naturales.

En todo caso, el árido se compondrá de elementos limpios, sólidos y resistentes, de uniformidad razonable, sin exceso de piezas planas, alargadas, blandas o fácilmente desintegrables, polvo, suciedad, arcilla y otras materias extrañas.

La composición tanto química como granulométrica de los áridos será tal que los hormigones con ellos constituidos, dosificados en la proporción conveniente, proporcionen la resistencia mecánica señalada en el proyecto.

Los áridos, una vez limpios y clasificados, se almacenarán de forma que no se mezclen con materiales extraños. Los áridos finos se almacenarán al abrigo de la lluvia.

El almacenamiento de cualquier clase de árido, cuando no se efectúe en tolvas o silos, sino en pilas, deberá disponerse a satisfacción del Ingeniero Director, o, en caso contrario, los 30 cm inferiores de la base de las pilas no se utilizarán ni se quitarán durante todo el tiempo que se vaya a utilizar la pila.

Se realizarán los ensayos correspondientes para cada partida de áridos de procedencia distinta, debiendo realizarse una serie completa de ensayos como mínimo para cada tamaño de clasificación.

En todo caso, el Director de obra podrá ordenar la realización de los ensayos que considere necesarios para comprobar, antes de la utilización de áridos, si se cumplen las características exigidas.

Artículo 4.- HORMIGONES.

Se definen como hormigones los materiales formados por mezcla de cemento, agua, árido fino y árido grueso y, eventualmente, productos de adición que al fraguar y endurecer proporcionan una notable resistencia.

La dosificación de áridos, cemento y agua será tal que la masa tenga consistencia blanda y que la resistencia característica a compresión a los 28 días en probeta cilíndrica sea de 25 N/mm^2 . En la preparación, amasado, vertido, etc.

En caso de que los ensayos de control dieran como resultado que la resistencia característica deducida fuera menor que la exigida y los ensayos de información y/o pruebas de carga ofreciesen resultados satisfactorios que permitiesen aceptar la obra realizada, el Contratista sufrirá una penalización económica consistente en una disminución del precio del m^3 de hormigón del 2 % por cada 1 % de disminución de la resistencia característica exigida.

La disminución del precio no podrá sobrepasar en ningún caso del 50 %.

Artículo 5.- ACEROS.

Los aceros laminados empleados en la estructura, así como chapas de unión, cartelas, redondos, etc., serán de primer uso, del tipo Acero al 9% Ni para cualquier acero en ambiente de temperatura inferior a -10°C y S-275JR2 para los demás perfiles. Las superficies de los redondos no presentarán asperezas que puedan herir a los operarios. Estarán exentos de pelos, grietas, sopladuras, mermas de sección y otros defectos perjudiciales a la resistencia de la barra. Los elementos en los que se aprecien defectos de laminación, falta de homogeneidad, manchas debidas a impurezas, grietas o cualquier otro defecto, serán desechados sin ser sometidos a ningún tipo de prueba.

Las armaduras de acero ordinario se almacenarán de forma que no estén expuestos a una oxidación excesiva y serán de hacer B400-S.

Artículo 6.- AISLANTES.

Los aislantes térmicos serán:

- Fibra de vidrio tanto en forma de mantas como en forma de ladrillos serán de alta calidad según lo disponible en el mercado.
- Perlita expandida y compactada según lo indicado en la norma ASTM C 349.

Artículo 7.- ALUMINIO

El aluminio utilizado en el techo suspendido será conforme a la norma EN 485-2.

Artículo 8.- OTROS MATERIALES.

Los demás materiales que se utilicen en la obra y que se hubiesen dejado de consignar en este Pliego de Condiciones serán de primera calidad y reunirán las condiciones de bondad necesarias a juicio de la Dirección Técnica.

13.1.2 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS**Artículo 9.- REPLANTEO.**

La dirección Técnica hará sobre el terreno el replanteo general de las obras y de sus distintas partes, del emplazamiento de las zanjas, las cuales después de abiertas deberán ser reconocidas por dicha Dirección, sin cuya autorización no podrán rellenarse para formar cimientos ni obra alguna, marcándose por medio de señales fijas los puntos principales que determinen las alineaciones.

Se formarán planos y se extenderán actas del resultado del replanteo y de los reconocimientos, actas que firmarán el Ingeniero y el Contratista.

No podrá darse principio a las obras a que los replanteos se refieren sin autorización del Ingeniero Director, debiendo tomarse previamente todos los datos relativos al estado en que se hallen los terrenos al principio de la cimentación.

Todos los gastos, tanto de materiales como de jornales que se originen al practicar los replanteos a que se refiere este artículo, serán de cuenta del contratista, el cual tiene la obligación de custodiar las señales indicada y reponer las que desaparezcan.

Artículo 10.-EXCAVACIONES.

Estos trabajos comprenden todas las operaciones necesarias de limpieza del terreno, excavación de la caja y refino de los taludes resultantes.

La excavación se realizará en la forma y profundidad que figura en los planos, de acuerdo con las alineaciones, rasantes y secciones indicadas en los mismos, o según haya señalado, en su caso, el Director de obras.

Los desmontes se ejecutarán por los procedimientos corrientes de excavación en forma que garantice la seguridad de los obreros, y cuando hayan de emplearse explosivos, con todas las precauciones que la naturaleza de estos materiales exige, para evitar accidentes a los encargados de su manejo y a cuantos pudieran sufrir las consecuencias de su explosión.

Se empezarán a cortar con el talud mínimo que consienta la naturaleza del terreno, hasta tanto que la Dirección Técnica de las obras fije en cada caso, los definitivos. El terreno no quedará perturbado más allá de los límites previstos y los trabajos de excavación se ejecutarán de manera que se favorezca en todo momento un rápido desagüe.

Los productos de los desmontes que no emplee el contratista en la ejecución de las obras, se colocarán en caballetes o apilados en los lugares que designe el Ingeniero encargado de la inspección donde quedarán a disposición de la Dirección.

Cualquier deterioro en las obras, debido a las excavaciones realizadas por el Contratista, incluidas las que sobrepasen los límites establecidos, será reparado por y a expensas del Contratista.

Artículo 11.- TERRAPLENES Y RELLENOS.

Se define como relleno el conjunto de operaciones que conllevan el transporte, deposición y compactación de materiales terrosos y pétreos en terraplenes, zanjas y traslados de obras de fábrica o cualquier otra zona que se detalle en los planos o que ordene la Dirección de obras.

Los terraplenes se ejecutarán a material perdido, con productos procedentes de las excavaciones, siempre que sean adecuados a este uso, dejando su consolidación al tránsito y acción de los agentes atmosféricos pero proporcionando siempre las creces necesarias para que, después de consolidados, queden con altura ligeramente superior a la rasante correspondiente, al objeto de que el refino sea practicado por el rebajamiento.

Artículo 12.- CIMIENTOS.

Las excavaciones necesarias para ejecutar la cimentación se profundizarán hasta encontrar el terreno conveniente, con las precauciones debidas, apeando y acodalando el terreno cuando sea necesario para la seguridad de los obreros así como para que queden perfectamente determinadas las dimensiones que hayan de tener las zanjas con arreglo al proyecto.

Artículo 13.- HORMIGONADO DE CIMIENTOS Y PAVIMENTOS.

Tanto la dosificación de cemento como la de áridos, se hará por peso, prestando especial atención a la dosificación de agua para mantener uniforme la consistencia del hormigón.

Las superficies sobre las cuales haya de ser vertido el hormigón estarán limpias, humedecidas, pero sin agua sobrante.

Se empleará el hormigón recién hecho y en general seco. Los semisecos se apisonarán hasta refluimiento. La distancia de transporte será corta para poder quedar cubierta antes de que empiece el fraguado de la mezcla aglomerante, y que el medio utilizado, no dé lugar a que el mortero se acumule en parte de la masa, dejando aisladas las piedras. Con este mismo objeto se procurará evitar el vertido del hormigón desde una altura considerable.

El hormigón se extenderá de forma que llene bien todos los huecos y esté en contacto con las paredes del recinto a llenar, procurando con el manejo de herramientas adecuadas, contribuir a conservar su homogeneidad, a facilitar el desprendimiento del aire y a separar las piedras de la superficie que deben quedar vistas.

Las superficies de cada capa deberán quedar, en general, sensiblemente horizontales y las mezclas habrán de someterse siempre a la presión que según su consistencia sea necesaria para asegurar la compacidad de la masa. Cuando fuese necesario recurrir al apisonado se practicará este por igual con golpes muy repetidos pero no demasiado fuertes, y se dará por terminado cuando el agua afluya a la superficie. Las fábricas en que intervenga el hormigón serán regadas y protegidas convenientemente contra el calor y el frío durante el proceso de fraguado y en tanto que este termine.

Cada 20 m² se dispondrá una junta de dilatación en todos aquellos elementos de tipo continuo, y en todos aquellos que así lo disponga el Director de obra.

El Contratista queda obligado a cumplir cuantas instrucciones sobre el particular reciba de la Dirección Técnica.

Artículo 14.-ARMADURAS.

Se emplearán las armaduras de la calidad y dimensiones fijadas en el proyecto y ocuparán los lugares previstos en los planos de ejecución.

Las desviaciones toleradas en posición de cada armadura no sobrepasarán 1cm en general y 0'5 cm en lo tocante a recubrimiento de armaduras.

Durante el vertido y compactación del hormigón, quedará impedido todo movimiento de las armaduras.

Artículo 15.- UNIONES SOLDADAS.

Se utilizarán electrodos de calidad estructural apropiada a las condiciones de la unión del soldeo y de las características mínimas siguientes:

- Resistencia a tracción del metal depositado.
 - Mayor que 37 kg/cm^2 para aceros tipo A- 37
 - Mayor que 42 kg/cm^2 para aceros tipo A- 42b
 - Mayor que 52 kg/cm^2 para aceros tipo A- 52b
- Alargamiento de rotura mayor del 22 % para aceros de cualquier tipo.
- Resistencia adaptada a la calidad del acero y al tipo de estructura no inferior en ningún caso a 5 kg/cm^2 .

En el uso de los electrodos se seguirán las normas indicadas por el suministrador.

En la ejecución de soldaduras, preparación de bornes, etc., se seguirá lo dispuesto en la norma MV 104/66 (Ejecución de las estructuras de acero laminado en la edificación).

Artículo 16.- PROTECCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA.

En evitación de oxidaciones se aplicará a toda la estructura metálica una capa de imprimación a partir de aceite de linaza cocido con un máximo en peso del 30 % y minio de plomo con mínimo del 70 % también en peso.

Se autoriza la agregación de otros productos no perjudiciales siempre que no excedan del 6 % en peso.

SIEMPRE se efectuará la imprimación el local seco y cubierto, al abrigo del polvo.

En todo lo referente a la protección, se seguirán las instrucciones de la norma MV 104/72 del Ministerio de la Vivienda.

Artículo 17.- HERRAJES.

Tanto los herrajes de colgar como los de seguridad serán de buena calidad de acuerdo con los precios establecidos en el presupuesto. De todos ellos se presentará previamente muestras para su aprobación por el Técnico Director. El número de hilos vendrá fijado por el número de fases necesarias para la utilización de los receptores por parte del abonado.

13.2 PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVA

Artículo 18.- OBRAS AFECTADAS.

Este Pliego de Condiciones particulares, juntamente con el Pliego General de Condiciones, la Memoria, Planos y Presupuestos, son documentos que has de servir de base para la ejecución de las obras correspondientes a este proyecto.

Serán objeto de las normas y condiciones facultativas que se reflejan en el Pliego de Condiciones las obras incluidas en el presupuesto, abarcando a todos los oficios y materiales que en ella se emplean.

Artículo 19.- NORMAS DE APLICACIÓN.

Serán de aplicación las normas indicadas en el capítulo correspondiente de la Memoria, y cuantas normas sean de aplicación, de acuerdo con la naturaleza del presente proyecto.

Artículo 20.- INTERPRETACIÓN DEL PROYECTO Y REALIZACIÓN DE OBRA.

Corresponde exclusivamente a la Dirección Técnica la interpretación del Proyecto, así como el dar las órdenes complementarias, gráficos o escritos para el correcto desarrollo del mismo.

Las obras se ajustarán a los planos y estados de mediciones, resolviéndose cualquier discrepancia por el Director de obra.

Artículo 21.- DURACIÓN DE LAS OBRAS.

Las obras correspondientes al presente proyecto comenzarán en la semana siguiente de la adjudicación por parte del Contratista, en el supuesto de que el contrato no se señale alguna otra fecha.

La duración de las obras será como máximo 3 años, si el contrato no lo estipula expresamente.

Artículo 22.- PLAZO DE GARANTÍA.

Se establece un plazo de garantía de 1 año como mínimo para las obras, maquinaria e instalaciones del presente proyecto.

Artículo 23.- RETIRADA DE MATERIALES, CASO DE RESCISIÓN DE CONTRATO.

La retirada de maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., caso de rescisión de contrato se realizará en el plazo de una semana como máximo contada a partir del día de rescisión, y será por cuenta del Constructor que rescinde.

13.3 PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE ECONÓMICA

Artículo 24.- MEDICIÓN DE LAS OBRAS EJECUTADAS.

La medición de las obras se hará por el tipo de unidad establecida en el Presupuesto.

Artículo 25.- EXCAVACIÓN Y RELLENO.

Se entiende por excavación en tierras las cubicaciones de la explanación efectuada, y por relleno, el mismo volumen descontando el que ocupa la fábrica.

Artículo 26.- DEFINICIÓN DEL METRO CÚBICO DE FÁBRICA.

Se entiende por metro cúbico de fábrica el de la obra ejecutada completamente terminada con arreglo a las condiciones. El precio señalado en el cuadro de precios correspondiente se refiere al metro cúbico definido de esta manera, cualquiera que sea la procedencia de los materiales.

Artículo 27.- MEDICIÓN DE OBRAS METÁLICAS.

Las partes metálicas de las obras se medirán por kg o por m², según Mediciones del Proyecto y estimación del Director de obra.

Artículo 28.- PRECIOS CONTRADICTORIOS.

Se establece un plazo de dos días para resolver cualquier precio contradictorio entre la Contrata y la Dirección Facultativa.

13.4 PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL**Artículo 29.- OBLIGACIONES DEL CONTRATISTA.**

El Contratista con carácter general viene obligado a ejecutar esmeradamente todas las obras que se le confían, así como a cumplir rigurosamente todas las condiciones estipuladas en este Pliego o en el Contrato, al igual que cuantas ordenes se le den verbalmente o por escrito por el Técnico Director de las obras.

Artículo 30.- RESPONSABILIDAD DEL CONTRATISTA.

De la calidad y buena ejecución de las obras contratadas, el Contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnización alguna por el mayor precio que pudieran costarle, ni por las erradas maniobras que cometiera durante la construcción, siendo a su cuenta y riesgo independientemente de la inspección que de ellas haya podido haber hecho el Técnico Director de obra.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan, para evitar en lo posible accidentes a los obreros o a los viandantes, en todos los lugares peligrosos de la obra.

Así mismo, será responsable ante los tribunales de los accidentes que por inexperiencia o descuido sobrevinieran en el curso de las obras, debiendo atenerse en todo a las normas de prudencia, así como a las disposiciones y Reglamentos de Policía de la materia.

Artículo 31.- LEYES LABORALES DE ACCIDENTES DE TRABAJO.

El contratista viene obligado a cumplir rigurosamente todas las legislaciones vigentes, o que puedan dictarse en el curso de los trabajos.

Igualmente está obligado a tener a todo el personal a sus órdenes debidamente asegurado contra accidentes de trabajo, debiendo así probarlo si a ello fuera invitado por la Dirección Técnica o la Propiedad.

Artículo 32.- MANO DE OBRA.

El contratista deberá tener siempre en obra un número de operarios proporcional a la extensión y clase de los trabajos a juicio de la Dirección Técnica. Estos serán de aptitud reconocida experimentados en su oficio y en todo momento habrá en obra un técnico o encargado apto que vigile e interprete los planos, y haga cumplir las órdenes de la Dirección y cuanto en este Pliego se especifica.

Artículo 33.- DAÑOS EN PROPIEDADES VECINAS.

Si con motivo de las obras el contratista causara algún desperfecto en las propiedades colindantes, tendrá que repararla por su cuenta. Así mismo, adoptará cuantas medidas sean necesarias para evitar la caída de materiales o herramientas que puedan ser motivo de accidentes.

Artículo 34.- RESCISIÓN DEL CONTRATO.

La rescisión, si se produjera, se regirá por el Reglamento General de Contratación para Aplicación de la Ley de Contratos de Estado, por el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales y demás disposiciones vigentes.

Serán causas suficientes de rescisión las siguientes:

- Muerte o incapacitación del Contratista.

- Quiebra del Contratista.

Alteraciones del contrato por las causas siguientes:

- Modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales a juicio del Director de obra, y siempre que la variación del presupuesto sea de $\pm 25\%$ como mínimo de su importe.
- Variaciones en las unidades de obra en $\pm 40\%$.
- Suspensión de la obra comenzada.
- Incumplimiento de las condiciones del contrato, cuando implique descuido o mala fe con perjuicio de los intereses de las obras.
- Abandono de la obra sin causa justificada.

Artículo 35.- FORMALIZACIONES DEL CONTRATO.

La formalización del contrato se verificará por documento privado con el compromiso por ambas partes, Propiedad y Contratista de elevarlo a Documento Público a petición de cualquiera de ellos, como complemento del Contrato, los Planos y demás documentos del Proyecto irán firmados por ambos.

14 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

14.1 MEMORIA

14.1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

Este Estudio de Seguridad y Salud establece, durante la ejecución de la obra, las previsiones respecto a prevención de riesgos y accidentes profesionales, así como los servicios sanitarios comunes a los trabajadores.

Servirá para dar unas directrices básicas a la/s empresa/s contratista/s para llevar a cabo sus obligaciones en el campo de la prevención de riesgos profesionales facilitando su desarrollo bajo el control del Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra, de acuerdo con el Real Decreto 1627 de 24 de Octubre de 1997 que establece las Disposiciones Mínimas en materia de seguridad y Salud.

14.2 CARACTERÍSTICAS DE LA OBRA

14.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y SITUACIÓN

La obra a realizar consiste en el diseño, cálculo y construcción de una planta de regasificación, situada en el Puerto de Granadilla (Tenerife).

14.2.2 PROBLEMÁTICA DE LA OBRA

14.2.2.1 Características y situación de los servicios y servidumbres existentes

El centro existente que consta de todos los servicios necesarios para la ejecución de los trabajos.

14.2.3 PRESUPUESTO, PLAZO DE EJECUCIÓN Y PERSONAL PREVISTO

El presupuesto total de ejecución por contrata asciende a la cantidad de 152 950 000 euros.

- Plazo de Ejecución:

El plazo máximo de ejecución previsto desde la iniciación hasta su terminación completa es de 33 meses. Estando prevista la puesta en funcionamiento de la Planta de Regasificación a principios de 2016.

- Personal previsto:

Dadas las características de la obra, se prevé un número máximo en la misma de 700 operarios.

14.2.4 TRABAJOS PREVIOS A LA REALIZACIÓN DE LA OBRA

Previo al inicio de las obras se deberá realizar una reunión con el Alcalde del Ayuntamiento de Tenerife, los Ingenieros los cuales han diseñado todo el recinto para su construcción y las empresas contratadas para la realización global del proyecto.

Se pondrá especial atención al orden de la obra, no debiendo existir ningún tipo de herramienta o maquinaria auxiliar al alcance de los residentes.

Se deberá señalizar correctamente y en lugares visibles la prohibición de entrada a toda persona ajena a la obra.

14.2.5 SERVICIOS HIGIÉNICOS, VESTUARIOS, COMEDOR Y OFICINA DE OBRA

Se contemplará la instalación de casetas vestuario y de caseta de inodoros y lavabos. Dada la localización se considera la instalación una caseta comedor. También se procederá a la instalación de una caseta médica con personal cualificado para atender a posibles accidentados.

14.2.6 INSTALACIÓN ELÉCTRICA PARA LA OBRA

Aún existiendo todas las tomas eléctricas necesarias para la ejecución de los trabajos se contemplan a continuación los posibles riesgos que el uso de aparatos eléctricos conlleva.

14.2.6.1 Riesgos detectables más comunes

- Heridas punzantes en manos.
- Caídas al mismo nivel.
- Electrocución; contactos eléctricos directos e indirectos derivados esencialmente de:
 - Trabajos con tensión.
 - Intentar trabajar sin tensión pero sin cerciorarse de que está efectivamente interrumpida o que no puede conectarse inopinadamente.
- Mal funcionamiento de los mecanismos y sistemas de protección.

- Usar equipos inadecuados o deteriorados.
- Mal comportamiento o incorrecta instalación del sistema de protección contra contactos eléctricos indirectos en general, y de la toma de tierra en particular.

14.2.7 NORMAS O MEDIDAS PREVENTIVAS

- Sistema de protección contra contactos indirectos.

Deberá comprobarse el correcto estado y funcionamiento del sistema de protección del centro.

- Normas de prevención tipo para los cables.

El calibre o sección del cableado será el adecuado a la carga eléctrica que ha de soportar en función de la maquinaria e iluminación prevista.

Todos los conductores utilizados serán aislados de tensión nominal de 1000 voltios como mínimo y sin defectos apreciables (rasgones, repelones y asimilables). No se admitirán tramos defectuosos en este sentido.

En caso de tener que efectuar empalmes entre mangueras se tendrá en cuenta:

- Los empalmes provisionales entre mangueras, se ejecutarán mediante conexiones normalizadas estancos antihumedad.
- Los empalmes definitivos se ejecutarán utilizando cajas de empalmes normalizados estancos de seguridad.

- Las mangueras de "alargadera".
 - Si son para cortos periodos de tiempo, podrán llevarse tendidas por el suelo, pero arrimadas a los parámetros verticales.
 - Se empalmarán mediante conexiones normalizadas estancos antihumedad o fundas aislantes termorretráctiles, con protección mínima contra chorros de agua (protección recomendable IP. 447).
 - Normas de seguridad tipo, de aplicación en caso de manipulación de la instalación eléctrica existente.

El personal que manipule la instalación será electricista, y preferentemente en posesión de carnet profesional correspondiente.

Toda la maquinaria eléctrica se revisará periódicamente, y en especial, en el momento en el que se detecte un fallo, momento en el que se la declarará "fuera de servicio" mediante desconexión eléctrica y el cuelgue del rótulo correspondiente en el cuadro de gobierno.

En caso de fallo de la maquinaria eléctrica, Se prohíben las revisiones o reparaciones bajo corriente. Antes de iniciar una reparación se desconectará la máquina de la red eléctrica, instalando en el lugar de conexión un letrero visible, en el que se lea: "NO CONECTAR".

14.3 FASES DE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA

14.3.1 PERSONAL DE TRABAJO

- Riesgos detectables más comunes.
 - Golpes por manejo de objetos o herramientas manuales.

- Cortes por manejo de objetos con aristas cortantes o herramientas manuales.
 - Caídas a distinto nivel.
 - Caídas al mismo nivel.
 - Cortes en los pies por pisadas sobre cascotes y materiales con aristas cortantes.
 - Cuerpos extraños en los ojos.
 - Sobreesfuerzos.
 - Otros.
- Normas o medidas preventivas tipo.

Los tajos se limpiarán de cascotes.

Los andamios sobre borriquetas a utilizar, tendrán siempre plataformas de trabajo de anchura no inferior a los 60 cm. (3 tablones trabados entre sí) y barandilla de protección de 90 cm.

Se prohíbe utilizar a modo de borriquetas para formar andamios, bidones, cajas de materiales, bañeras, etc.

Las zonas de trabajo tendrán una iluminación mínima de 100 lux a una altura sobre el suelo en torno a los 2 m.

Se prohíbe el conexionado de cables eléctricos a los cuadros de alimentación sin la utilización de las clavijas macho-hembra, en prevención del riesgo eléctrico.

- Prendas de protección personal obligatorias.

- Casco de polietileno (obligatorio para los desplazamientos por la obra y en aquellos lugares donde exista riesgo de caídas de objetos).
- Guantes de cuero.
- Botas de seguridad.
- Gafas de protección para posibles proyecciones.
- Ropa de trabajo.

14.3.2 ALBAÑILERÍA

- Riesgos detectables más comunes.
 - Cortes por uso de herramientas, (paletas, paletines, terrajas, miras, etc.).
 - Golpes por uso de herramientas, (miras, regles, terrajas, maestras).
 - Caídas a distinto nivel.
 - Caídas al mismo nivel.
 - Cuerpos extraños en los ojos.
 - Dermatitis de contacto con el cemento y otros aglomerantes.
 - Sobreesfuerzos.
 - Otros.
- Normas o medidas de protección tipo.

En todo momento se mantendrán limpias y ordenadas las superficies de tránsito y de apoyo para realizar los trabajos de enfoscado para evitar los accidentes por resbalón.

Los andamios para enfoscados de interiores se formarán sobre borriquetas. Se prohíbe el uso de escaleras, bidones, pilas de material, etc., para estos fines, para evitar los accidentes por trabajar sobre superficies inseguras.

Las zonas de trabajo tendrán una iluminación mínima de 100 lux, medidos a una altura sobre el suelo en torno a los 2 m.

Se prohíbe el conexionado de cables eléctricos a los cuadros de alimentación sin la utilización de las clavijas macho-hembra.

El transporte de sacos de aglomerantes o de áridos se realizará preferentemente sobre carretilla de mano, para evitar sobreesfuerzos.

- Prendas de protección personal obligadas.
 - Casco de polietileno (obligatorio para los desplazamientos por la obra y en aquellos lugares donde exista riesgo de caída de objetos).
 - Guantes de P.V.C. o goma.
 - Guantes de cuero.
 - Botas de seguridad.
 - Botas de goma con puntera reforzada.
 - Gafas de protección contra gotas de morteros y asimilables.
 - Cinturón de seguridad clases A y C.

- Normas o medidas preventivas tipo.

Los acopios de carpintería de madera se ubicarán en los lugares que en ningún caso afecten al espacio de trabajo necesario.

En todo momento los tajos se mantendrán libres de cascotes, recortes, metálicos, y demás objetos punzantes, para evitar los accidentes por pisadas sobre objetos.

Antes de la utilización de cualquier máquina-herramienta, se comprobará que se encuentra en óptimas condiciones y con todos los mecanismos y protectores de seguridad, instalados en buen estado, para evitar accidentes.

El "cuelgue" de hojas de puertas, se efectuará por un mínimo de dos operarios, para evitar accidentes por desequilibrio, vuelco, golpes y caídas.

Las zonas de trabajo tendrán una iluminación mínima de 100 lux a una altura entorno a los 2 m.

Se prohíbe el conexionado de cables eléctricos a los cuadros de alimentación sin la utilización de las clavijas macho-hembra.

Las escaleras a utilizar serán de tipo de tijera, dotadas de zapatas antideslizantes y de cadenilla limitadora de apertura.

Se prohíbe expresamente la anulación de toma de tierra de las máquinas herramienta. Se instalará en cada una de ellas una "pegatina" en tal sentido, si no están dotadas de doble aislamiento.

- Prendas de protección personal recomendables.
 - Casco de polietileno (obligatorio para desplazamientos por la obra y en aquellos lugares donde exista riesgo de caída de objetos).
 - Guantes de P.V.C. o de goma.

- Guantes de cuero.
- Gafas antiproyecciones.
- Mascarilla de seguridad con filtro específico recambiable para polvo de madera, (de disolventes o de colas).
- Botas de seguridad.
- Ropa de trabajo.

14.4 MEDIOS AUXILIARES

14.4.1 ANDAMIOS

Están formados por un tablero horizontal de 60 cm. de anchura mínima, colocados sobre dos apoyos en forma de "V" invertida.

- Riesgos detectables más comunes.
 - Caídas a distinto nivel.
 - Caídas al mismo nivel.
 - Golpes o aprisionamientos durante las operaciones de montaje y desmontaje.
 - Los derivados del uso de tablones y madera de pequeña sección o en mal estado (roturas, fallos, cimbreos).
- Normas o medidas preventivas tipo.

Las borriquetas siempre se montarán perfectamente niveladas, para evitar los riesgos por trabajar sobre superficies inclinadas.

Las borriquetas de madera, estarán sanas, perfectamente encoladas y sin oscilaciones, deformaciones y roturas, para eliminar los riesgos por fallo, rotura espontánea y cimbreo.

Las plataformas de trabajo se anclarán perfectamente a las borriquetas, en evitación de balanceos y otros movimientos indeseables.

Las plataformas de trabajo no sobresaldrán por los laterales de las borriquetas más de 40 cm. para evitar el riesgo de vuelcos por basculamiento.

Las borriquetas no estarán separadas "a ejes" entre sí más de 2,5 m. para evitar las grandes flechas, indeseables para las plataformas de trabajo, ya que aumentan los riesgos al cimbrear.

Los andamios se formarán sobre un mínimo de dos borriquetas. Se prohíbe expresamente, la sustitución de éstas, (o alguna de ellas), por "bidones", "pilas de materiales" y asimilables, para evitar situaciones inestables.

Sobre los andamios sobre borriquetas, sólo se mantendrá el material estrictamente necesario y repartido uniformemente por la plataforma de trabajo para evitar las sobrecargas que mermen la resistencia de los tablones.

Las borriquetas metálicas de sistema de apertura de cierre o tijera, estarán dotadas de cadenillas limitadoras de la apertura máxima, tales, que garanticen su perfecta estabilidad.

Las plataformas de trabajo sobre borriquetas, tendrán una anchura mínima de 60 cm. (3 tablones trabados entre sí), y el grosor del tablón será como mínimo de 7 cm.

Los andamios sobre borriquetas, independientemente de la altura a que se encuentre la plataforma, estarán recercados de barandillas sólidas de 90 cm. de altura, formadas por pasamanos, listón intermedio y rodapié.

Las borriquetas metálicas para sustentar plataformas de trabajo ubicadas a 2 ó más metros de altura, se arriostrarán entre sí, mediante "cruces de San Andrés", para evitar los movimientos oscilatorios, que hagan el conjunto inseguro.

Los trabajos en andamios sobre borriquetas en los balcones, tendrán que ser protegidos del riesgo de caída desde altura.

Se prohíbe formar andamios sobre borriquetas metálicas simples cuyas plataformas de trabajo deban ubicarse a 6 ó más metros de altura.

Se prohíbe trabajar sobre escaleras o plataformas sustentadas en borriquetas, apoyadas a su vez sobre otro andamio de borriquetas.

La madera a emplear será sana, sin defectos ni nudos a la vista, para evitar los riesgos por rotura de los tablones que forman una superficie de trabajo.

- Prendas de protección personal recomendables.

Serán preceptivas las prendas en función de las tareas específicas a desempeñar. No obstante durante las tareas de montaje y desmontaje se recomienda el uso de:

- Cascos.
- Guantes de cuero.
- Calzado antideslizante.
- Ropa de trabajo.
- Cinturón de seguridad clase C.

14.4.2 ESCALERAS DE MANO

- Riesgos detectables más comunes.
 - Caídas al mismo nivel.
 - Caídas a distinto nivel.
 - Deslizamiento por incorrecto apoyo (falta de zapatas, etc.).
 - Vuelco lateral por apoyo irregular.
 - Rotura por defectos ocultos.
 - Los derivados de los usos inadecuados o de los montajes peligrosos (empalme de escaleras, formación de plataformas de trabajo, escaleras "cortas" para la altura a salvar, etc.).
 - Otros.
- Normas o medidas preventivas tipo.

Los largueros serán de una sola pieza y estarán sin deformaciones o abolladuras que puedan mermar su seguridad.

Las escaleras metálicas estarán pintadas con pintura antioxidación que las preserven de las agresiones de la intemperie, o bien en su caso, serán de aluminio.

- De aplicación al uso de escaleras de tijera.

Son de aplicación las condiciones enunciadas en el anterior apartado.

Las escaleras de tijera a utilizar en esta obra, estarán dotadas en su articulación superior, de topes de seguridad de apertura.

Las escaleras de tijera estarán dotadas hacia la mitad de su altura, de cadenilla (o cable de acero) de limitación de apertura máxima.

Las escaleras de tijera se utilizarán siempre como tales abriendo ambos largueros para no mermar su seguridad.

Las escaleras de tijera en posición de uso, estarán montadas con los largueros en posición de máxima apertura par no mermar su seguridad.

Las escaleras de tijera nunca se utilizarán a modo de borriquetas para sustentar las plataformas de trabajo.

Las escaleras de tijera no se utilizarán, si la posición necesaria sobre ellas para realizar un determinado trabajo, obliga a ubicar los pies en los 3 últimos peldaños.

Las escaleras de tijera se utilizarán montadas siempre sobre pavimentos horizontales.

- Para el uso de escaleras de mano, independientemente de los materiales que las constituyen.

Se prohíbe la utilización de escaleras de mano en esta obra para salvar alturas superiores a 5 m.

Las escaleras de mano a utilizar en esta obra, estarán dotadas en su extremo inferior de zapatas antideslizantes de seguridad.

Las escaleras de mano a utilizar en esta obra, estarán firmemente amarradas en su extremo superior al objeto o estructura al que dan acceso.

Las escaleras de mano a utilizar en esta obra, sobrepasarán en 1 m. la altura a salvar.

Se prohíbe apoyar la base de las escaleras de mano de esta obra, sobre lugares u objetos poco firmes que pueden mermar la estabilidad de este medio auxiliar.

El ascenso y descenso y trabajo a través de las escaleras de mano de esta obra, se efectuará frontalmente, es decir, mirando directamente hacia los peldaños que se están utilizando.

- Prendas de protección personal recomendables.
 - Casco de polietileno.
 - Botas de seguridad.
 - Calzado antideslizante.
 - Cinturón de seguridad clase A o C.

14.5 MAQUINARIA DE OBRA

14.5.1 MAQUINARIA EN GENERAL

- Riesgos detectables más comunes.
 - Formación de atmósferas agresivas o molestas.
 - Ruido.
 - Explosión e incendios.
 - Caídas a cualquier nivel.
 - Atrapamientos.

- Cortes.
 - Golpes y proyecciones.
 - Contactos con la energía eléctrica.
 - Los inherentes al propio lugar de utilización.
 - Los inherentes al propio trabajo a ejecutar.
 - Otros.
- Normas o medidas preventivas tipo.

Los motores con transmisión a través de ejes y poleas, estarán dotados de carcasas protectoras antiatrapamientos (cortadoras, sierras, compresores, etc.).

Los motores eléctricos estarán cubiertos de carcasas protectoras eliminadoras del contacto directo con la energía eléctrica. Se prohíbe su funcionamiento sin carcasa o con deterioros importantes de éstas.

Se prohíbe la manipulación de cualquier elemento componente de una máquina accionada mediante energía eléctrica, estando conectada a la red de suministro.

Los engranajes de cualquier tipo, de accionamiento mecánico, eléctrico o manual, estarán cubiertos por carcasas protectoras antiatrapamientos. Las máquinas de funcionamiento irregular o averías serán retiradas inmediatamente para su reparación.

Las máquinas averiadas que no se puedan retirar se señalizarán con carteles de aviso con la leyenda: "MAQUINA AVERIADA, NO CONECTAR".

Se prohíbe la manipulación y operaciones de ajuste y arreglo de máquinas al personal no especializado específicamente en la máquina objeto de reparación.

Como precaución adicional para evitar la puesta en servicio de máquinas averiadas o de funcionamiento irregular, se bloquearán los arrancadores, o en su caso, se extraerán los fusibles eléctricos.

La misma persona que instale el letrero de aviso de "MAQUINA AVERIADA", será la encargada de retirarlo, en prevención de conexiones o puestas en servicio fuera de control.

Solo el personal autorizado será el encargado de la utilización de una determinada máquina o máquina-herramienta.

Las máquinas que no sean de sustentación manual se apoyarán siempre sobre elementos nivelados y firmes.

Todas las máquinas con alimentación a base de energía eléctrica, estarán dotadas de toma de tierra.

- Prendas de protección personal recomendables.
 - Casco de polietileno.
 - Ropa de trabajo.
 - Botas de seguridad.
 - Guantes de cuero.
 - Gafas de seguridad antiproyecciones.
 - Otros.

14.5.2 MESA DE SIERRA CIRCULAR

Se trata de una máquina versátil y de gran utilidad en obra, con alto riesgo de accidente, que suele utilizar cualquiera que la necesite.

- Riesgos detectables más comunes.
 - Cortes.
 - Golpes por objetos.
 - Atrapamientos.
 - Proyección de partículas.
 - Emisión de polvo.
 - Contacto con la energía eléctrica.
 - Otros.
- Normas o medidas preventivas tipo.

Las máquinas de sierra circular a utilizar en esta obra, estarán dotadas de los siguientes elementos de protección:

- Carcasa de cubrición del disco.
- Cuchillo divisor del corte.
- Empujador de la pieza a cortar y guía.
- Carcasa de protección de las transmisiones por poleas.

- Interruptor de estanco.
- Toma de tierra.

Se prohíbe expresamente en esta obra, dejar en suspensión del gancho de la grúa las mesas de sierra durante los periodos de inactividad.

El mantenimiento de las mesas de sierra de esta obra, será realizado por personal especializado para tal menester, en prevención de los riesgos por impericia.

La alimentación eléctrica de las sierras de disco a utilizar en esta obra, se realizará mediante mangueras antihumedad, dotadas de clavijas estancas a través del cuadro eléctrico de distribución, para evitar los riesgos eléctricos.

Se prohíbe ubicar la sierra circular sobre los lugares encharcados, para evitar los riesgos de caídas y los eléctricos.

Se limpiará de productos procedentes de los cortes, los aledaños de las mesas de sierra circular, mediante barrido y apilado para su carga sobre bateas emplintadas (o para su vertido mediante las trompas de vertido).

En esta obra, al personal autorizado para el manejo de la sierra de disco (bien sea para corte de madera o para corte cerámico), se le entregará la siguiente normativa de actuación. El justificante del recibí, se entregará al Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de obra.

- Normas de seguridad para el manejo de la sierra de disco.

Antes de poner la máquina en servicio compruebe que no está anulada la conexión a tierra, en caso afirmativo, avise al Servicio de Prevención.

Compruebe que el interruptor eléctrico es estanco, en caso de no serlo, avise al Servicio de Prevención.

Utilice el empujador para manejar la madera; considere que de no hacerlo puede perder los dedos de sus manos. Desconfíe de su destreza. Esta máquina es peligrosa.

No retire la protección del disco de corte. Estudie la forma de cortar sin necesidad de observar la "trisca". El empujador llevará la pieza donde usted desee y a la velocidad que usted necesita. Si la madera "no pasa", el cuchillo divisor está mal montado. Pida que se lo ajusten.

Si la máquina, inopinadamente se detiene, retírese de ella y avise al Servicio de Prevención para que sea reparada. No intente realizar ni ajustes ni reparaciones.

Compruebe el estado del disco, sustituyendo los que estén fisurados o carezcan de algún diente.

Para evitar daños en los ojos, solicite se le provea de unas gafas de seguridad antiproyección de partículas y úselas siempre, cuando tenga que cortar.

Extraiga previamente todos los clavos o partes metálicas hincadas en la madera que desee cortar. Puede fracturarse el disco o salir despedida la madera de forma descontrolada, provocando accidentes serios.

- En el corte de piezas cerámicas

Observe que el disco para corte cerámico no está fisurado. De ser así, solicite al Servicio de Prevención que se cambie por otro nuevo.

Efectúe el corte a ser posible a la intemperie (o en un local muy ventilado), y siempre protegido con una mascarilla de filtro mecánico recambiable.

Efectúe el corte a sotavento. El viento alejará de usted las partículas perniciosas.

Moje el material cerámico, antes de cortar, evitará gran cantidad de polvo.

- Prendas de protección personal recomendables.
 - Casco de polietileno.
 - Gafas de seguridad antiproyecciones.
 - Mascarilla antipolvo con filtro mecánico recambiable.
 - Ropa de trabajo.
 - Botas de seguridad.
 - Guantes de cuero (preferible muy ajustados).
- Para cortes en vía húmeda se utilizará
 - Guantes de goma o de P.V.C. (preferible muy ajustados).
 - Traje impermeable.
 - Polainas impermeables.
 - Mandil impermeable.
 - Botas de seguridad de goma o de P.V.C.

14.5.3 SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO (SOLDADURA ELÉCTRICA)

- Riesgos detectables más comunes.
 - Caída desde altura.
 - Caídas al mismo nivel.

- Atrapamientos entre objetos.
 - Aplastamiento de manos por objetos pesados.
 - Los derivados de las radiaciones del arco voltaico.
 - Los derivados de la inhalación de vapores metálicos.
 - Quemaduras.
 - Contacto con la energía eléctrica.
 - Proyección de partículas.
 - Otros.
- Normas o medidas preventivas tipo.

En todo momento los tajos estarán limpios y ordenados en prevención de tropiezos y pisadas sobre objetos punzantes.

Se suspenderán los trabajos de soldadura a la intemperie bajo el régimen de lluvias, en prevención del riesgo eléctrico.

Los porta-electrodos a utilizar en esta obra, tendrán el soporte de manutención en material aislante de la electricidad.

Se prohíbe expresamente la utilización en esta obra de porta-electrodos deteriorados, en prevención del riesgo eléctrico. El personal encargado de soldar será especialista en estas tareas.

A cada soldador y ayudante a intervenir en esta obra, se le entregará la siguiente lista de medidas preventivas; del recibí se dará cuenta a la Dirección Facultativa o Jefatura de Obra.

- Normas de prevención de accidentes para los soldadores.

Las radiaciones del arco voltaico son perniciosas para su salud. Protéjase con el yelmo de soldar o la pantalla de mano siempre que suelde.

No ir directamente al arco voltaico. La intensidad luminosa puede producirle lesiones graves en los ojos.

No pique el cordón de soldadura sin protección ocular. Las esquirlas de cascarilla desprendida, pueden producirle graves lesiones en los ojos.

No toque las piezas recientemente soldadas; aunque le parezca lo contrario, pueden estar a temperaturas que podrían producirle quemaduras serias.

Suelde siempre en lugar bien ventilado, evitará intoxicaciones y asfixia.

Antes de comenzar a soldar, compruebe que no hay personas en el entorno de la vertical de su puesto de trabajo. Les evitará quemaduras fortuitas.

No deje la pinza directamente en el suelo o sobre la perfilaría. Deposítela sobre un porta pinzas evitará accidentes.

Pida que le indiquen cual es el lugar más adecuado para tender el cableado del grupo, evitará tropiezos y caídas. No utilice el grupo sin que lleve instalado el protector de clemas. Evitará el riesgo de electrocución.

Compruebe que su grupo está correctamente conectado a tierra antes de iniciar la soldadura.

No anule la toma de tierra de la carcasa de su grupo de soldar porque "salte" el disyuntor diferencial. Avise al Servicio de Prevención para que se revise la avería. Aguarde a que le reparen el grupo o bien utilice otro.

Desconecte totalmente el grupo de soldadura cada vez que haga una pausa de consideración (almuerzo o comida, o desplazamiento a otro lugar).

Compruebe antes de conectarlas a su grupo, que las mangueras eléctricas están empalmadas mediante conexiones estancas de intemperie. Evite las conexiones directas protegidas a base de cinta aislante.

No utilice mangueras eléctricas con la protección externa rota o deteriorada seriamente. Solicite se las cambien, evitará accidentes. Si debe empalmar las mangueras, proteja el empalme mediante "forrillos termorretráctiles".

Escoja el electrodo adecuado para el cordón a ejecutar.

Cerciórese de que estén bien aisladas las pinzas porta-electrodos y los bornes de conexión.

Utilice aquellas prendas de protección personal que se le recomienden, aunque le parezcan incómodas o poco prácticas. Considere que sólo se pretende que usted no sufra accidentes.

- Prendas de protección personal recomendables.
 - Casco de polietileno para desplazamientos por la obra.
 - Yelmo de soldador (casco + careta de protección).
 - Pantalla de soldadura de sustentación manual.
 - Gafas de seguridad para protección de radiaciones por arco voltaico (especialmente el ayudante).
 - Guantes de cuero.
 - Botas de seguridad.

- Ropa de trabajo.
- Manguitos de cuero.
- Polainas de cuero.
- Mandil de cuero.
- Cinturón de seguridad clase A y C.

14.5.4 MÁQUINAS DE HERRAMIENTA GENERAL

En este apartado se consideran globalmente los riesgos de prevención apropiados para la utilización de pequeñas herramientas accionadas por energía eléctrica: Taladros, rozadoras, cepilladoras metálicas, sierras, etc., de una forma muy genérica.

- Riesgos detectables más comunes.
 - Cortes.
 - Quemaduras.
 - Golpes.
 - Proyección de fragmentos.
 - Caída de objetos.
 - Contacto con la energía eléctrica.
 - Vibraciones.

- Ruido.
 - Otros.
- Normas o medidas preventivas colectivas tipo.

Las máquinas-herramientas eléctricas a utilizar en esta obra, estarán protegidas eléctricamente mediante doble aislamiento.

Los motores eléctricos de la máquina-herramienta estarán protegidos por la carcasa y resguardos propios de cada aparato, para evitar los riesgos de atrapamientos, o de contacto con la energía eléctrica.

Las transmisiones motrices por correas, estarán siempre protegidas mediante bastidor que soporte una malla metálica, dispuesta de tal forma, que permitiendo la observación de la correcta transmisión motriz, impida el atrapamiento de los operarios o de los objetos.

Las máquinas en situación de avería o de semi-avería se entregarán al Servicio de Prevención para su reparación.

Las máquinas-herramienta con capacidad de corte, tendrán el disco protegido mediante una carcasa antiproyecciones. Las máquinas-herramienta no protegidas eléctricamente mediante el sistema de doble aislamiento, tendrán sus carcasas de protección de motores eléctricos, etc., conectadas a la red de tierras en combinación con los disyuntores diferenciales del cuadro eléctrico general de la obra.

En ambientes húmedos la alimentación para las máquinas-herramienta no protegidas con doble aislamiento, se realizará mediante conexión a transformadores a 24 V.

Se prohíbe el uso de máquinas-herramientas al personal no autorizado para evitar accidentes por impericia.

Se prohíbe dejar las herramientas eléctricas de corte o taladro, abandonadas en el suelo, o en marcha aunque sea con movimiento residual en evitación de accidentes.

- Prendas de protección personal recomendables.
 - Casco de polietileno.
 - Ropa de trabajo.
 - Guantes de seguridad.
 - Guantes de goma o de P.V.C.
 - Botas de goma o P.V.C.
 - Botas de seguridad.
 - Gafas de seguridad antiproyecciones.
 - Protectores auditivos.
 - Mascarilla filtrante.
 - Máscara antipolvo con filtro mecánico o específico recambiable.

14.5.5 HERRAMIENTAS MANUALES

- Riesgos detectables más comunes.
 - Golpes en las manos y los pies.
 - Cortes en las manos.

- Proyección de partículas.
 - Caídas al mismo nivel.
 - Caídas a distinto nivel.
- Normas o medidas preventiva tipo.

Las herramientas manuales se utilizarán en aquellas tareas para las que han sido concebidas.

Antes de su uso se revisarán, desechándose las que no se encuentren en buen estado de conservación.

Se mantendrán limpias de aceites, grasas y otras sustancias deslizantes.

Para evitar caídas, cortes o riesgos análogos, se colocarán en portaherramientas o estantes adecuados.

Durante su uso se evitará su depósito arbitrario por los suelos.

Los trabajadores recibirán instrucciones concretas sobre el uso correcto de las herramientas que hayan de utilizar.

- Prendas de protección personal recomendables.
 - Cascos.
 - Botas de seguridad.
 - Guantes de cuero o P.V.C.
 - Ropa de trabajo.

- Gafas contra proyección de partículas.
- Cinturones de seguridad.

14.6 TRABAJOS QUE IMPLICAN RIESGOS ESPECIALES

Por las características de los trabajos a realizar no se considera que puedan existir trabajos que supongan un riesgo especial.

15 NORMATIVA APLICADA

- Ley 31/1.995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Título II (Capítulos de I a XII): Condiciones Generales de los centros de trabajo y de los mecanismos y medidas de protección de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (O.M. de 9 de marzo de 1 971).
- Capítulo XVI: Seguridad e Higiene; secciones 1ª, 2ª y 3ª de la Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica. (O.M. de 28 de agosto de 1 970).
- Real Decreto 1627/97 de 24 de octubre de 1997 por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y de Salud en las Obras de Construcción.
- Ordenanzas Municipales.

15.1 SEÑALIZACIONES

- R.D. 485/97, de 14 de abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

15.2 EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

- R.D. 1.407/1.992 modificado por R.D. 159/1.995, sobre condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual-EPI.
- R.D. 773/1.997 de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por trabajadores de equipos de protección individual.

15.3 EQUIPOS DE TRABAJO

- R.D. 1215/1.997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

15.4 SEGURIDAD EN MÁQUINAS

- R.D. 1.435/1.992 modificado por R.D. 56/1.995, dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.
- R.D. 1.495/1.986, modificación R.D. 830/1.991, aprueba el Reglamento de Seguridad en las máquinas.

- Orden de 23/05/1.977 modificada por Orden de 7/03/1.981. Reglamento de aparatos elevadores para obras.

15.5 PROTECCIÓN ACÚSTICA

- R.D. 1.316/1.989, del Mº de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno. 27/10/1.989. Protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.
- R.D. 245/1.989, del Mº de Industria y Energía. 27/02/1.989. Determinación de la potencia acústica admisible de determinado material y maquinaria de obra.
- Orden del Mº de Industria y Energía. 17/11/1.989. Modificación del R.D. 245/1.989, 27/02/1.989.
- Orden del Mº de Industria, Comercio y Turismo. 18/07/1.991. Modificación del Anexo I del Real Decreto 245/1.989, 27/02/1.989.
- R.D. 71/1.992, del Mº de Industria, 31/01/1.992. Se amplía el ámbito de aplicación del Real Decreto 245/1.989, 27/02/1.989, y se establecen nuevas especificaciones técnicas de determinados materiales y maquinaria de obra.
- Orden del Mº de Industria y Energía. 29/03/1.996. Modificación del Anexo I del Real Decreto 245/1.989.

15.6 OTRAS DISPOSICIONES DE APLICACIÓN

- R.D. 487/1.997. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañen riesgos, en particular dorso-lumbares, para los trabajadores.
- Reglamento electrotécnico de baja Tensión e Instrucciones Complementarias.

- Orden de 20/09/1.986: Modelo de libro de Incidencias correspondiente a las obras en que sea obligatorio un Estudio de Seguridad y Salud en el trabajo.
- Orden de 6/05/1.988: Requisitos y datos de las comunicaciones de apertura previa o reanudación de actividades de empresas y centros de trabajo.

15.7 CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS MEDIOS DE PROTECCIÓN

Todas las prendas de protección personal o elementos de protección colectiva, tendrán fijado un periodo de vida útil, desechándose a su término.

Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se repondrá ésta, independientemente de la duración prevista o fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido (por ejemplo, por un accidente), será desechado y repuesto al momento. Aquellas prendas que por su uso hayan adquirido más holguras o tolerancias de las admitidas por el fabricante, serán repuestas inmediatamente.

El uso de una prenda o equipo de protección nunca representará un riesgo en sí mismo.

15.8 PROTECCIÓN PERSONAL

Todo elemento de protección personal dispondrá de marca CE siempre que exista en el mercado.

En aquellos casos en que no exista la citada marca CE, serán de calidad adecuada a sus respectivas prestaciones.

El encargado del Servicio de Prevención dispondrá en cada uno de los trabajos en obra la utilización de las prendas de protección adecuadas.

El personal de obra deberá ser instruido sobre la utilización de cada una de las prendas de protección individual que se le proporcionen. En el caso concreto del cinturón de seguridad, será preceptivo que el Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de obra proporcione al operario el punto de anclaje o en su defecto las instrucciones concretas para la instalación previa del mismo.

15.8.1 PROTECCIONES COLECTIVAS

No procede por tratarse una obra de escasa complicación y realizada únicamente en planta baja.

15.9 CONDICIONES TÉCNICAS DE LA MAQUINARIA

Las máquinas con ubicación fija en obra, tales como grúas torre y hormigonera serán las instaladas por personal competente y debidamente autorizado.

El mantenimiento y reparación de estas máquinas quedará, asimismo, a cargo de tal personal, el cual seguirá siempre las instrucciones señaladas por el fabricante de las máquinas.

Las operaciones de instalación y mantenimiento deberán registrarse documentalmente en los libros de registro pertinentes de cada máquina. De no existir estos libros para aquellas máquinas utilizadas con anterioridad en otras obras, antes de su utilización, deberán ser revisadas con profundidad por personal competente, asignándoles el mencionado libro de registro de incidencias.

Las máquinas con ubicación variable, tales como circular, vibrador, soldadura, etc. deberán ser revisadas por personal experto antes de su uso en obra, quedando a

cargo del Servicio de Prevención la realización del mantenimiento de las máquinas según las instrucciones proporcionadas por el fabricante.

El personal encargado del uso de las máquinas empleadas en obra deberá estar debidamente autorizado para ello, proporcionándosele las instrucciones concretas de uso.

15.10 CONDICIONES TÉCNICAS DE LOS SERVICIOS DE HIGIENE Y BIENESTAR

Ya se ha mencionado en la Memoria del presente Estudio, que el centro en el que se van a llevar a cabo las obras consta de todos los servicios de higiene que los operarios pudieran utilizar.

- Botiquines

Se dispondrá de un cartel claramente visible en el que se indiquen todos los teléfonos de urgencia de los centros hospitalarios más próximos; médicos, ambulancias, bomberos, policía, etc.

El botiquín a utilizar en obra será el existente en el centro, ya que cuenta éste con sala de curas.

15.11 ORGANIZACIÓN DE LA SEGURIDAD

15.11.1 SERVICIO DE PREVENCIÓN

El empresario deberá nombrar persona o persona encargada de prevención en la obra dando cumplimiento a lo señalado en el artículo 30 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Los trabajadores designados deberán tener la capacidad necesaria, disponer del tiempo y de los medios precisos y ser suficientes en número, teniendo en cuenta el tamaño de la empresa, así como los riesgos a que están expuestos los trabajadores y su distribución en la misma. Los servicios de prevención deberán estar en condiciones de proporcionar a la empresa el asesoramiento y apoyo que precise en función de los tipos de riesgo en ella existentes y en lo referente a:

- El diseño, aplicación y coordinación de los planes y programas de actuación preventiva.
- La evaluación de los factores de riesgo que puedan afectar a la seguridad y la salud de los trabajadores en los términos previstos en el artículo 16 de esta Ley.
- La determinación de las prioridades en la adopción de las medidas preventivas adecuadas y la vigilancia de su eficacia.
- La información y formación de los trabajadores.
- La prestación de los primeros auxilios y planes de emergencia.
- La vigilancia de la salud de los trabajadores en relación con los riesgos derivados del trabajo.

El servicio de prevención tendrá carácter interdisciplinario, debiendo sus medios ser apropiados para cumplir sus funciones. Para ello, la formación, especialidad, capacitación, dedicación y número de componentes de estos servicios así como sus recursos técnicos, deberán ser suficientes y adecuados a las actividades preventivas a desarrollar, en función de las siguientes circunstancias:

- Tamaño de la empresa.
- Tipos de riesgo que puedan encontrarse expuestos los trabajadores.

- Distribución de riesgos en la empresa.

15.11.2 SEGUROS DE RESPONSABILIDAD CIVIL Y TODO RIESGO EN OBRA

El contratista debe disponer de cobertura de responsabilidad civil en el ejercicio de su actividad industrial, cubriendo el riesgo inherente a su actividad como constructor por los daños a terceras personas de los que pueda resultar responsabilidad civil extracontractual a su cargo, por hechos nacidos de culpa o negligencia; imputables al mismo o a las personas de las que debe responder. Se entiende que esta responsabilidad civil debe quedar ampliada al campo de la responsabilidad civil patronal.

El contratista viene obligado a la contratación de un Seguro, en la modalidad de todo riesgo a la construcción, durante el plazo de ejecución de la obra con ampliación a un periodo de mantenimiento de un año, contado a partir de la fecha de terminación definitiva de la obra.

15.11.3 FORMACIÓN

Todo el personal que realice su cometido en las fases de cimentación, estructura y albañilería en general, deberá realizar un curso de Seguridad y Salud en la Construcción, en el que se les indicarán las normas generales sobre Seguridad y Salud que en la ejecución de esta obra se van a adoptar.

Esta formación deberá ser impartida por los Jefes de Servicios Técnicos o mandos intermedios, recomendándose su complementación por instituciones tales como los Gabinetes de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Mutua de Accidentes, etc.

Por parte de la Dirección de la empresa en colaboración con el Coordinador de Seguridad y Salud en ejecución de obra, se velará para que el personal sea instruido sobre las normas particulares que para la ejecución de cada tarea o para la utilización de cada máquina, sean requeridas.

15.11.4 RECONOCIMIENTOS BÁSICOS

Al ingresar en la empresa constructora todo trabajador deberá ser sometido a la práctica de un reconocimiento médico, el cual se repetirá con periodicidad máxima de un año.

15.12 OBLIGACIONES DE LAS PARTES IMPLICADAS DE LA PROPIEDAD

La propiedad, viene obligada a incluir el presente Estudio de Seguridad y Salud, como documento adjunto del Proyecto de Obra.

Igualmente, abonará a la Empresa Constructora, previa certificación del Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de obra, las partidas incluidas en el Presupuesto del Estudio de Seguridad y Salud.

- De la empresa constructora

El Contratista viene obligado a cumplir las directrices contenidas en este estudio de Seguridad y Salud, a través de un Plan de Seguridad coherente con el anterior y con los sistemas de ejecución que vaya a emplear. El Plan de Seguridad y Salud, contará con la aprobación del Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de obra, y será previo al comienzo de la obra. Por último, el Contratista cumplirá las estipulaciones preventivas del Estudio y el Plan de Seguridad y Salud, respondiendo de los daños que se deriven de la infracción del mismo por su parte o de los posibles subcontratistas y empleados.

- Del coordinador de seguridad y salud durante la ejecución de la obra

Al Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de obra le corresponderá el control y supervisión de la ejecución del Plan/es de Seguridad y Salud,

autorizando previamente cualquier modificación de éste y dejando constancia escrita en el Libro de Incidencias.

Periódicamente, según lo pactado, se realizarán las pertinentes certificaciones del Presupuesto de Seguridad, poniendo en conocimiento de la Propiedad y de los organismos competentes, el incumplimiento, por parte del Contratista, de las medidas de Seguridad contenidas en el Estudio de Seguridad y Salud.

15.13 NORMAS PARA LA CERTIFICACIÓN DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD

En cada certificación de obra se abonará la parte proporcional del presupuesto de Seguridad y Salud.

15.14 PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD

El Contratista está obligado a redactar un Plan de Seguridad y Salud, adaptando este Estudio a sus medios y métodos de ejecución.

Este Plan de Seguridad y Salud deberá contar con la aprobación expresa del Coordinador de seguridad y salud en ejecución de la obra, a quien se presentará antes de la iniciación de los trabajos.

Una copia del Plan deberá entregarse al Servicio de Prevención y Empresas subcontratistas.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**INGENIERO TÉCNICO DE MINAS
ESPECIALIDAD EN: RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y
EXPLOSIVOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)

DOCUMENTO N° 4: ANEXOS

JUAN SANTOS VILLAREJO

NOVIEMBRE DE 2013

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**INGENIERO TÉCNICO DE MINAS
ESPECIALIDAD EN: RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y
EXPLOSIVOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)

ANEXO A: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

JUAN SANTOS VILLAREJO

NOVIEMBRE DE 2013

16 ANEXO A: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

16.1 BALANCE DE MATERIA

La terminal de regasificación del puerto industrial de Granadilla puede presentar dos configuraciones de operaciones distintas: la emisión de gas a la red con y sin presencia simultánea de descarga de metanero. Para tener en cuenta los condicionantes que ambos modos operativos suponen, es necesario realizar por separado el balance de materia y energía en ambos casos.

El balance de materia se va a realizar teniendo en cuenta que la planta estará diseñada tanto para recibir gas ligero, con alto contenido en metano, como gas pesado. Para los cálculos se va a tomar un GNL de peso molecular 17,5 g/mol y composición típica. Su composición es la que se muestra en la Tabla 16:

Metano	92,3% mol
Etano	5,0% mol
Propano	1,5% mol
i-Butano	0,3% mol
n- Butano	0,3 % mol
Pentano	0,1 % mol
Nitrógeno	0,5 % mol

Tabla 16: Composición típica del GNL de peso molecular 17,5 g/mol

16.1.1 BALANCE DE MATERIA SIN DESCARGA DE BUQUE

En el caso de que la producción de la planta de Granadilla no sea simultánea con la descarga de un buque metanero, todo el gas producido por la vaporización de GNL en los tanques de almacenamiento se relicuará en el relicuador, ya que no será necesario suministrar parte o la totalidad de este gas al buque metanero con el fin de mantener la presión en el interior de sus tanques durante el proceso de descarga.

En tales condiciones los tanques de GNL tendrán que suministrar el gas requerido por la red de gasoductos.

En régimen de producción nominal no será necesaria la operación del vaporizador de combustión sumergida, por lo que el caudal de gas derivado a este equipo será nulo.

$$\text{Emisión a red: } V_{31} = 150\,000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h} \quad T_{31} = 4 \text{ }^\circ\text{C} \quad P_{31} = 72 \text{ bar}$$

Dado que en condiciones normales la densidad del GN es de $0,725 \text{ kg/m}^3(\text{n})$ se obtiene que:

$$m_{31} = 150\,000 \cdot 0,725 = 108\,750 \text{ kg/h}$$

Por tanto, el caudal másico total de gas que atravesará los vaporizadores será:

$$m_{25} = 108\,750 \text{ kg/h}$$

Por otra parte, los tanques deberán suministrar el GNL necesario para la relicuación de la corriente de gases en cada uno de los tanques por la vaporización de parte del líquido contenido en los mismos. Se estima la ganancia de calor en 0,05% en peso por día del llenado máximo del líquido en el tanque basado en metano puro.

Ganancia de calor en un tanque:

$$Q = M_{\text{a evaporar}} \cdot \lambda = (Vol_{\text{tanque}} \cdot \rho_{\text{CH}_4} \cdot 0,05/100) \cdot \lambda_{\text{CH}_4}$$

$$Q = 150\,000 \cdot 419,4 \cdot 0,0005 \cdot 511,3 = 1,6083 \cdot 10^7 \text{ kJ/d}$$

Donde:

$$\text{Volumen del líquido del tanque (Vol}_{\text{tanque}}\text{): } 150\,000 \text{ m}^3$$

Densidad del metano (-160 °C y 250 mbarg) (ρ_{CH_4}): 419,4 kg/m³

Calor latente del metano (-160 °C y 250 mbarg) (λ_{CH_4}): 511,3 kJ/kg

$$Q = 1,6083 \cdot 10^7 \cdot 1/24 \cdot 1/3 \cdot 600 = 186,2 \text{ kW}$$

Este valor será el criterio de diseño necesario para determinar los espesores de aislante necesarios para el tanque.

Por otra parte el caudal de gas vaporizado por la entrada de este calor constituye el denominado Boil Off Gas (BOG), que deberá gestionar la planta.

Siendo el calor latente de vaporización del GNL almacenado en el tanque de 474 kJ/kg, el resultado es el caudal de GNL vaporizado en el tanque, es decir, el caudal de BOG generado en el tanque:

$$m_{\text{boil-off}} = (186,2 \cdot 3600) / 474 = 1\,414 \text{ kg/h}$$

Este es el caudal de BOG generado en un tanque de 150 000 m³. Como la planta se va a diseñar teniendo en cuenta una posible ampliación futura de otro tanque de la misma capacidad, el caudal máximo de aporte al sistema de boil-off por vaporización natural del contenido de los tanques será:

$$m_{62} = m_{\text{boil-off total}} = 1\,414 \cdot 2 = 2\,828 \text{ kg/h}$$

En apartados posteriores se calcula la relación que debe haber entre el gas (a enfriar) que entra en el relicuador y el gas natural licuado procedente de los tanques de almacenamiento (líquido que enfría) mediante un balance térmico. Esta relación resulta en un requisito $m_{\text{GNL}} / m_{\text{bog}} = 7,8$. Por tanto, el caudal másico de GNL que entra en el relicuador procedente de los tanques es de:

$$m_{15} = 2.828 \cdot 7,8 = 22\,058 \text{ kg/h}$$

Dado que el GNL que sale del relicuador con destino a los vaporizadores es la combinación de dos corrientes, la de boil-off y la de GNL proveniente de los tanques, el caudal másico de GNL a la salida del relicuador será de:

$$m_{24} = m_{62} + m_{15} = 24\,886 \text{ kg/h}$$

Adicionalmente, los tanques de almacenamiento aportan un caudal másico de GNL hacia los vaporizadores sin pasar por el relicuador. Este caudal másico de GNL será de:

$$m_{\text{bypass relicuador}} = m_{25} - m_{24} = 83\,864 \text{ kg/h}$$

El caudal que deben suministrar los tanques de GNL para el suministro a la red nacional de gasoductos resulta:

$$m_{\text{gasoductos}} = m_{\text{bypass relicuador}} + m_{15} = 105\,922 \text{ kg/h}$$

Se va a suponer que el transporte de gas a Tenerife sea por gasoducto por lo que, no habrá islas de carga de cisternas.

Así pues, el caudal total a suministrar desde los tanques de GNL será el caudal requerido para el suministro a la red nacional de gasoductos.

$$m_{12} = m_{\text{gasoductos}} = 105\,922 \text{ kg/h}$$

Con una densidad de GNL de 424 kg/m^3 a 290 mbarg y -160°C :

$$V_{12} = 105\,922 / 424 = 250 \text{ m}^3 / \text{h GNL}$$

Dado que esta cantidad de GNL tendrá que ser impulsada por tres bombas primarias, cada una de ellas deberá trasegar:

$$V_{\text{bomba primaria}} = 250 / 2 = 125 \text{ m}^3 / \text{h GNL por bomba primaria}$$

En cambio, el flujo másico que deberán trasegar las bombas secundarias será directamente el mismo que luego es vaporizado para su emisión a la red:

$$m_{\text{bombas secundarias}} = m_{25} = 108\,750 \text{ kg/h}$$

La aspiración de las bombas secundarias se realizará en torno a 8 barg y una temperatura aproximada de $-157\text{ }^{\circ}\text{C}$. En estas condiciones la densidad del GNL es de $419,9 \text{ kg/m}^3$:

$$V_{\text{bombas secundarias}} = 108\,750 / 419,9 = 259 \text{ m}^3/\text{h}$$

Al disponer de tres bombas operando simultáneamente, cada una de ellas deberá vehicular un caudal de:

$$V_{\text{bomba secundaria}} = 259 / 3 = 86,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por otra parte, se mantendrá una corriente de $60\,000 \text{ kg/h}$ de GNL circulando por las líneas de líquido que unen el pantalán con los tanques de GNL a fin de mantener el enfriamiento de estas tuberías a una temperatura inferior a $-157\text{ }^{\circ}\text{C}$, a fin de agilizar las operaciones asociadas a la descarga de buques metaneros. Este gas será impulsado por las bombas primarias, circulará por las líneas que unen la zona de proceso de la planta con el pantalán y se reintegrarán a la corriente de GNL antes de que ésta se introduzca en el relicuador.

16.1.2 BALANCE DE MATERIA CON DESCARGA DE BUQUE

Durante la descarga de un buque metanero se habrá de tener en cuenta, además de las corrientes que entran en juego durante la operativa normal de producción de la planta, ya citadas en el apartado A.1.1., la circulación de parte de boil-off generado en los tanques hacia el buque metanero. Esta circulación de gas se lleva a cabo con el fin de mantener estable la presión en el interior de los tanques del buque durante el proceso de descarga del mismo.

Dado que los brazos de descarga del pantalán se diseñarán para que el ritmo de la descarga sea de $12\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ de GNL a una temperatura aproximada del líquido de $-163\text{ }^{\circ}\text{C}$, a la que presentará una densidad de 424 kg/m^3 , la corriente 10 presentará el siguiente flujo másico:

$$m_1 = 12\,000 \cdot 424 = 5\,088\,000 \text{ kg/h}$$

El flujo de gas retornado al buque, corriente 60, tendrá una temperatura aproximada es de $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se inyectará en el barco a una presión en torno a 120 mbarg. En estas condiciones la densidad del gas es de $1,7 \text{ kg/m}^3$. Dado que cada hora el volumen de GNL a reemplazar es de $12\,000 \text{ m}^3$, el flujo másico de la corriente 60 será:

$$m_{60} = 12\,000 \cdot 1,7 = 20\,400 \text{ kg/h}$$

En condiciones normales de operación se controlará la presión de descarga del buque con el fin de que la corriente 60 provenga en todo momento de la corriente 59 y que no se produzca el disparo de la válvula de seguridad que conecta el colector de los brazos de descarga de líquido con la línea de retorno de vapor. Esta operativa permite maximizar el volumen de líquido descargado que alcanzas los tanques, evitando considerables pérdidas económicas.

A su vez, la corriente 59 proviene de la evaporación de gas en los tanques de GNL. Dado que en los tanques deberá desplazarse un volumen conjunto de gas de $12\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ (menos la cantidad de GNL que sale del tanque bombeado por las bombas primarias en régimen de producción máxima, es decir, $V_{12} = 250 \text{ m}^3/\text{h}$) como consecuencia de la entrada en los mismos de los $12\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ de líquido provenientes del metanero, la suma de las corriente 51A y 51B. Además la corriente 13 transportará el boil-off formado por la vaporización del gas que se encuentra dentro del tanque (corriente $m_{\text{boil-off}}$ calculada en el apartado A.1.1.). A una temperatura de $-157\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una presión de 250 mbarg, la corriente 51 tendrá una densidad de $2,2 \text{ kg/m}^3$ y un flujo másico de:

$$m_{51} = m_{51A} + m_{51B} = (12\,000 - 250) \cdot 2,2 + 2\,828 = 28\,678 \text{ kg/h}$$

De estos $28\,678 \text{ kg/h}$ de boil-off producidos en los tanques, $20\,400 \text{ kg/h}$ se recircularán al buque metanero mientras que la cantidad restante habrá de comprimirse en los compresores de boil-off para su posterior entrada al relicuador.

$$m_{\text{boil-off}} = m_{62} = 28\,678 - 20\,400 = 8\,278 \text{ kg/h}$$

Durante la fase de descarga de un buque metanero, la terminal debe ser capaz de mantener las condiciones de emisión requeridas por la red de gasoductos.

El caudal másico total de gas que atravesará los vaporizadores será:

$$m_{25} = 150\,000 \cdot 0,725 = 108\,750 \text{ kg/h}$$

En apartados posteriores, se calcula la relación que debe haber entre el gas (a enfriar) que entra en el relicuador y el gas natural licuado procedente de los tanques de almacenamiento (líquido que enfría) mediante un balance térmico. Esta relación resulta de $m_{\text{GNL}} / m_{\text{bog}} = 7,8$. Por tanto, el caudal másico de GNL que entra en el relicuador procedente de los tanques es de:

$$m_{15} = 8\,278 \cdot 7,8 = 64\,568 \text{ kg/h}$$

Dado que el GNL que sale del relicuador con destino a los vaporizadores es la combinación de dos corrientes, la de boil-off y la de GNL proveniente de los tanques, el caudal másico de GNL a la salida del relicuador será de:

$$m_{24} = m_{62} + m_{15} = 72\,846 \text{ kg/h}$$

Adicionalmente, los tanques de almacenamiento aportan un caudal másico de GNL hacia los vaporizadores sin pasar por el relicuador. Este caudal másico de GNL será de:

$$m_{\text{bypass relicuador}} = m_{25} - m_{24} = 35\,904 \text{ kg/h}$$

El caudal que deben suministrar los tanques de GNL para el suministro a la red nacional de gasoductos resulta:

$$m_{\text{gasoductos}} = m_{\text{bypass relicuador}} + m_{15} = 100\,472 \text{ kg/h}$$

Se va a suponer que el transporte de gas a Tenerife sea por gasoducto por lo que, no habrá cargadero de cisternas.

Así pues, el caudal total a suministrar desde los tanques de GNL será el caudal requerido para el suministro a la red nacional de gasoductos.

$$m_{12} = m_{\text{gasoductos}} = 100\,472 \text{ kg/h}$$

Con una densidad de GNL de 424 kg/m^3 a 290 mbarg y -160°C :

$$V_{12} = 100\,472 / 424 = 237 \text{ m}^3 \text{ GNL / h}$$

Dado que en caso de operación de la planta de regasificación de GNL de Granadilla sin descarga de buque metanero, las bombas primarias son capaces de vehicular un caudal de $250 \text{ m}^3/\text{h}$ GNL, superior al requerido durante la descarga de un buque ($237 \text{ m}^3/\text{h}$ GNL), los equipos seleccionados en el apartado A.1.1. son aptos para las condiciones de operación estudiadas en este apartado.

16.2 BALANCE DE ENERGÍA

16.2.1 BALANCE DE ENERGÍA EN LOS VAPORIZADORES DE AGUA DE MAR

Para la vaporización del GNL antes de su emisión a la red de gasoductos española, se emplearán, en condiciones nominales de operación, dos vaporizadores de agua de mar instalados en paralelo.

Los cálculos se llevan a cabo suponiendo, como en apartados anteriores, un GNL de peso molecular $17,5 \text{ g/mol}$ y composición típica. Su composición es la que se muestra en la Tabla 16.

Dado que en condiciones normales la densidad del GN es de $0,725 \text{ kg/m}^3$ se obtiene que:

$$m_{25} = 150\,000 \cdot 0,725 = 108\,750 \text{ kg/h}$$

$$m_{\text{vaporizador}} = 108\,750 / 2 = 54\,375 \text{ kg/h}$$

La evaporación del GNL en los vaporizadores se producirá isobáricamente a una presión de 74 barg, entrando el gas al equipo con una temperatura aproximadamente de -150 °C y saliendo a 4 °C. En tal caso, la cantidad de calor que deberá aportar el agua de mar a cada vaporizador viene dada por la siguiente expresión:

$$Q_{\text{vaporizador}} = m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pg} \cdot (T_c - T_{gi}) + m_{\text{vaporizador}} \cdot \lambda + m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pl} \cdot (T_{gf} - T_c) = m_{\text{agua}} \cdot C_{pa} \cdot \Delta T_{\text{agua}}$$

Siendo:

$$m_{\text{vaporizador}} = \text{caudal másico del GNL (kg/h)}$$

$$C_{pg} = \text{calor específico a presión constante del GN vaporizado (kcal/kg}^\circ\text{C)}$$

$$C_{pl} = \text{calor específico a presión constante del GNL (kcal/kg }^\circ\text{C)}$$

$$\lambda = \text{calor latente de vaporización del GNL (kcal/kg)}$$

$$T_c = \text{temperatura de vaporización del GNL (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{gi} = \text{temperatura del GNL a la entrada del vaporizador (}^\circ\text{C)}$$

$$T_{gf} = \text{temperatura del GN a la salida del vaporizador (}^\circ\text{C)}$$

$$m_{\text{agua}} = \text{caudal de la masa de agua de mar (kg/h)}$$

$$C_{pa} = \text{calor específico del agua de mar (kcal/kg }^\circ\text{C)}$$

$$\Delta T_{\text{agua}} = \text{salto térmico del agua de mar (máximo permitido)}$$

Con el fin de no afectar ni a la flora ni a la fauna marina autóctonas se impone la condición de que el salto térmico que experimenta el agua de mar desde que es aspirada

por las bombas de agua de mar hasta que es vertida de nuevo a través del emisario de la planta no exceda los 5°C.

En el caso analizado:

$$m_{\text{vaporizador}} = 54\,375 \text{ kg/h}$$

$$C_{pg} = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{pl} = 0,6 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 118 \text{ kcal/kg}$$

$$T_c = -50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{gi} = -150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{gf} = +4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_{pa} = 0,932 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{agua}} = 5 \text{ K}$$

$$54\,375 \cdot 0,5 (-50 - (-150)) + 54\,375 \cdot 118 + 54\,375 \cdot 0,6 \cdot (4 - (-50)) = m_{\text{agua}} \cdot 0,932 \cdot 5$$

$$m_{\text{agua}} = 2\,338\,358 \text{ kg/h} = 2\,338 \text{ t/h}$$

El conjunto de los dos vaporizadores de agua de mar recibiría un caudal de agua de:

$$m_{\text{agua total}} = 2\,338\,358 \cdot 2 = 4\,676\,716 \text{ kg/h}$$

16.2.2 BALANCE DE ENERGÍA EN EL VAPORIZADOR DE COMBUSTIÓN SUMERGIDA

En caso de indisponibilidad de uno de los vaporizadores de agua de mar o en caso de ser necesario incrementar puntualmente la emisión a la red por encima del valor nominal de producción de la terminal, se arrancará el vaporizador de combustión sumergida.

En las situaciones anteriormente descritas, el flujo másico de GNL que llegaría al equipo sería el equivalente a uno de los vaporizadores de agua de mar, es decir, 75 000 m³(n)/h.

Dado que en condiciones normales la densidad del GN es de 0,725 kg/m³ se obtiene que:

$$m_{\text{vaporizador}} = 75\,000 \cdot 0,725 = 54\,375 \text{ kg/h}$$

La evaporación del GNL en el vaporizador se producirá isobáricamente a una presión de 74 barg, entrando el gas al equipo con una temperatura aproximadamente de -150 °C y saliendo a 4 °C. En tal caso, la cantidad de calor que deberá aportar el vaporizador al GNL para conseguir su vaporización será:

$$\begin{aligned} Q_{\text{vaporizador}} &= m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pg} \cdot (T_c - T_{gi}) + m_{\text{vaporizador}} \cdot \lambda + m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pl} \cdot (T_{gf} - T_c) \\ &= m_{\text{combustible}} \cdot \text{PCI}_{\text{GNL}} \cdot \eta_{\text{VCS}} \end{aligned}$$

Donde:

$Q_{\text{vaporizador}}$ = calor a aportar al flujo másico de GNL para producir su vaporización, expresado en kJ/h.

$m_{\text{vaporizador}}$ = caudal másico del GNL (kg/h)

C_{pg} = calor específico a presión constante del GN vaporizado (kcal/kg °C)

C_{pl} = calor específico a presión constante del GNL (kcal/kg °C)

λ = calor latente de vaporización del GNL (kcal/kg)

T_c = temperatura de vaporización del GNL (°C)

T_{gi} = temperatura del GNL a la entrada del vaporizador (°C)

T_{gf} = temperatura del GN a la salida del vaporizador (°C)

$m_{combustible}$ = caudal de la masa de combustible (kg/h)

PCI_{GNL} : Poder calorífico inferior del GNL a 9 barg (55.300 kJ/kg)

η_{VCS} : Rendimiento del vaporizador de combustión sumergida (0,9)

$$Q_{vaporizador} = 54\,375 \cdot 0,5 (-50 - (-150)) + 54\,375 \cdot 118 + 54\,375 \cdot 0,6 (4 - (-50)) = \\ m_{combustible} \cdot PCI_{GNL} \cdot \eta_{VCS}$$

$$Q_{vaporizador} = 10\,896\,750 \text{ kcal/h} = m_{combustible} \cdot 55\,300/4,184 \cdot 0,9$$

$$m_{combustible} = 916 \text{ kg/h}$$

El gas empleado como fuel gas provendrá tanto de los compresores de boil-off, como de parte de la corriente de gas ya vaporizado. En tal caso el flujo másico que atravesará los vaporizadores se verá reducido en una cantidad equivalente a la del gas que se ha de quemar en el vaporizador de combustión sumergida.

16.2.3 BALANCE DE ENERGÍA EN EL RELICUADOR

El relicuador es un intercambiador de calor de mezcla al que accede la corriente 15, procedente de los tanques de GNL y la 62, proveniente de los compresores de boil-off y del que sale la corriente 24, cuyo flujo másico será la suma de los dos precedentes.

El balance de energía que tiene lugar en este elemento es el que se cita a continuación:

$$m_{24} \cdot H_{24} = m_{62} \cdot H_{62} + m_{15} \cdot H_{15}$$

$$\text{Con: } m_{24} = m_{62} + m_{15}$$

En el supuesto de que se esté produciendo la emisión de gas a la red desde la terminal sin que exista descarga simultánea de un buque metanero, los valores de los flujos másicos de las citadas corrientes serán:

$$m_{62} = m_{\text{boil-off}} = 8\,278 \text{ kg/h} \quad T_{62} = -33\,^{\circ}\text{C} \quad P_5 = 9 \text{ barg} \quad H_{62} = -4\,456 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{15} = 64\,568 \text{ kg/h} \quad T_{15} = -159\,^{\circ}\text{C} \quad P_6 = 9 \text{ barg} \quad H_{15} = -5\,506 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{24} = 72\,846 \text{ kg/h}$$

$$72\,846 \cdot H_{24} = 8\,278 \cdot (-4\,456) + 64\,568 \cdot (-5\,506)$$

$$H_{24} = -5\,387 \text{ kJ/kg}$$

Este valor de entalpía corresponde a una temperatura de la corriente 24 de aproximadamente $T_{24} = -157\,^{\circ}\text{C}$ a una presión de 9 barg.

16.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES

Se va a tomar como base, para el dimensionamiento de los equipos de la planta de regasificación, el depósito de almacenamiento de gas natural licuado (GNL) y la capacidad de producción que se quiere obtener. Se pretende instalar un tanque de $150\,000 \text{ m}^3$ y obtener una capacidad nominal de $150\,000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$.

Para el cálculo del dimensionamiento de los equipos de la planta de regasificación, se comenzará realizando un balance de boil-off. Este cálculo concluye en la capacidad de compresión que debe instalarse en la terminal de regasificación para poder manejar el máximo boil-off generado.

En caso de máxima generación de boil-off que marcará la capacidad de diseño de los compresores de boil-off, es el de descarga de barco combinado con mínima emisión de gas a red.

Este cálculo teórico se basa en unos criterios en los que se pretende alcanzar un compromiso en la forma de operar segura y relativamente cómoda la planta y la rentabilidad de la inversión económica realizada en el sistema de recuperación de BOG (compresores, relicuador, tuberías, válvulas y sistemas de control).

Hipótesis de cálculo a partir de la Tabla 16.

- Tamaño de almacenamiento en barco: 145 000 m³.
- Caudal de descarga de GNL: 12 000 m³/h.
- Emisión mínima de planta 75 000 m³(n)/h, obtenida con una bomba primaria de 143 m³/h en funcionamiento.
- Capacidad de almacenamiento de GNL en planta: 1 tanque de 150 000 m³.

Los aportes netos a la generación de gas de boil-off son:

- Desplazamiento de gas por llenado de un tanque con un caudal de GNL de 12 000 m³/h, efecto pistón, sustrayendo el volumen que una bomba primaria del tanque extrae para mantener la mínima emisión de la planta.

$$M_I = (12\,000 - 143) \cdot \rho_v = 11\,857 \cdot 1,81 = 21\,461 \text{ kg/h}$$

Siendo ρ_v la densidad del gas desplazado a las condiciones de almacenamiento (250 mbarg y temperatura del gas en cúpula: $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$) = $1,81\text{ kg/m}^3$.

- Generación de gas en cada tanque de almacenamiento por ganancia de calor del exterior: se estima la ganancia de calor, pues con esa premisa se ha diseñado el tanque, en un 0,05% en peso por día del total de líquido en el tanque basado en metano puro.

Ganancia de calor en un tanque:

$$Q_1 = M_{\text{a evaporar}} \cdot \lambda = (\text{Vol}_{\text{tanque}} \cdot \rho_{\text{CH}_4} \cdot 0,05/100) \cdot \lambda_{\text{CH}_4}$$

$$Q_1 = 150\,000 \cdot 419,4 \cdot 0,0005 \cdot 511,3 = 1,61 \cdot 10^7 \text{ kJ/d}$$

$$Q_1 = 1,61 \cdot 10^7 \cdot 1/24 \cdot 1/3600 = 186,3 \text{ kW}$$

Se ha considerado:

Volumen de líquido en el tanque ($\text{Vol}_{\text{tanque}}$): $150\,000\text{ m}^3$

Densidad del metano ($-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 250 mbarg) (ρ_{CH_4}): $419,4\text{ kg/m}^3$

Calor latente del metano ($-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 250 mbarg) (λ_{CH_4}): $511,3\text{ kJ/kg}$

Siendo el calor latente de vaporización del GNL almacenado en el tanque de 474 kJ/kg , el resultado es el caudal de GNL vaporizado en el tanque, es decir, el caudal de BOG generado en el tanque:

$$M_{Q1} = (186,3 \cdot 3\,600) / 474 = 1\,415 \text{ kg/h}$$

- Este es el caudal de BOG generado en un tanque de $150\,000\text{ m}^3$.

- Generación de gas en el barco por ganancia de calor del exterior: se estima la ganancia de calor en un 0,15% en peso por día del total de líquido en el barco basado en metano puro.

Ganancia de calor en el barco:

$$Q_2 = M_{a \text{ evaporar}} \cdot \lambda = (\text{Vol}_{\text{barco}} \cdot \rho_{\text{CH}_4} \cdot 0,15/100) \cdot \lambda_{\text{CH}_4}$$

$$Q_2 = 145\,000 \cdot 421 \cdot 0,0015 \cdot 513,5 = 4,702 \cdot 10^7 \text{ kJ/d}$$

$$Q_2 = 4,702 \cdot 10^7 \cdot 1/24 \cdot 1/3600 = 544 \text{ kW}$$

Se ha considerado:

Volumen de líquido en el barco: 145 000 m³

Densidad del metano (-159 °C y 150 mbarg): 421 kg/m³

Calor latente del metano (-159,9 °C y 150 mbarg): 513,5 kJ/kg

Siendo el calor latente de vaporización del GNL almacenado en el barco de 504,8 kJ/kg, el resultado es el caudal de GNL vaporizado en el barco, es decir, el caudal de BOG generado en el barco:

$$M_{Q2} = (544 \cdot 3\,600) / 504,8 = 3\,880 \text{ kg/h}$$

Para una densidad del gas en el barco (-159,9 °C y 150 mbarg): 2,26 kg/m³, resulta un volumen “ocupado” por ese gas y no demandado para compensar el volumen desalojado de líquido de:

$$V_{Q2} = 3\,880 / 2,26 = 1\,717 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Generación de BOG debida a la ganancia de calor del exterior por tuberías y brazos de descarga de gas:

Se considera:

Ganancia de calor en tuberías: 30 W/m^2 (referido a superficie externa)

Ganancia de calor en brazos de descarga: 70 kW/brazo

Línea de descarga: 36" con una longitud de 500 m

$$1'' = 2,54 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$D = 36 \cdot 2,52 \cdot 10^{-2} = 0,9144 \text{ m}$$

$$\text{Superficie externa} = \pi \cdot D \cdot L = \pi \cdot 0,9144 \cdot 500 = 1\,436 \text{ m}^2$$

$$\text{Ganancia de calor en tubería de descarga} = 30 \cdot 1\,436 = 43,1 \text{ kW}$$

$$\text{Ganancia de calor en brazos de descarga} = 70 \cdot 3 = 210 \text{ kW}$$

$$Q_3 = 43,1 + 210 = 253,1 \text{ kW}$$

Tomando el calor latente de vaporización del GNL almacenado en el barco de $504,8 \text{ kJ/kg}$, el resultado es el caudal de GNL vaporizado en las tuberías de descarga y brazos:

$$M_{Q3} = (253,1 \cdot 3\,600) / 504,8 = 1\,805 \text{ kg/h}$$

La demanda neta de gas del sistema es:

- Por vaciado del barco de $12\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ de GNL, sustrayendo la generación de gas en el barco por ganancia de calor:

$$D_I = (12\,000 - 1\,717) \cdot 1,55 = 15\,939 \text{ kg/h}$$

Siendo la densidad del gas demandado a las condiciones del barco (150 mbarg y temperatura máxima de retorno al barco: -120 °C): 1,55 kg/m³

El caudal neto de generación de gas de boil-off es:

$$Q_{\text{BOG}} = M_I + M_{Q1} + M_{Q3} - D_I = 21\,461 + 1\,415 + 1\,805 - 15\,939$$

$$Q_{\text{BOG}} = 8\,742 \text{ kg/h}$$

16.3.1 COMPRESORES DE GAS

En operación normal (sin descarga de buque) se va a emplear un solo compresor de boil-off para tratar el gas de boil-off normal procedente de los tanques de almacenamiento.

El caudal de aporte de boil-off al sistema del tanque de almacenamiento de 150 000 m³ cuando no hay descarga de metanero es el calculado anteriormente, 1 415 kg/h. Este caudal se va a tratar con un solo compresor de 6 000 kg/h trabajando al 24% de su capacidad.

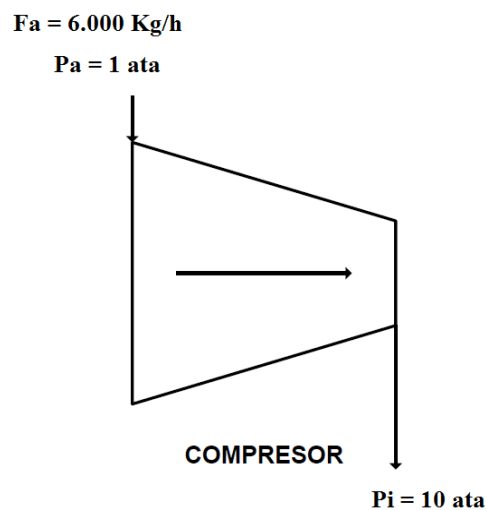
Durante la operación de descarga de buque metanero y capacidad de emisión mínima a la red, se produce la mayor cantidad de boil-off que la planta ha de tratar. Como se ha calculado anteriormente, se puede llegar a tener que tratar un caudal de boil-off de 8 742 kg/h, por lo que se va a emplear un compresor adicional al anterior, también de capacidad 6 000 kg/h.

Además se instalará un tercer compresor de reserva de 6 000 kg/h, que entrará en funcionamiento en caso de fallo, reparación o mantenimiento de cualquiera de los dos anteriores.

Dimensionamiento de los compresores de gas

Para la presión de aspiración (entrada) se va a tomar la del tanque de almacenamiento, que es aproximadamente la atmosférica.

Para la presión de impulsión (salida) se toma la necesaria para vencer las pérdidas de carga y entrar al relicuador a la presión necesaria de 9 ata. Será suficiente con tomar una presión de salida del compresor de 10 ata.



Suponiendo que el gas que tenemos en el tanque es todo metano (CH_4), se calcula el caudal molar:

$$\text{PM} (\text{CH}_4) = 16 \text{ kg/kmol}$$

$$F_a = 6\,000 \text{ kg/h}$$

$$n = F_a / \text{PM} = 6\,000 / 16 = 375 \text{ kmol/h} = 375 \cdot 10^3 \text{ mol/h}$$

$$\text{Por ser un gas ideal: } P \cdot V = Z \cdot n \cdot R \cdot T$$

Se puede hacer una rápida estimación del factor de compresibilidad Z a partir del monograma que se muestra en la Figura 6:

Figura 6: Factor generalizado de compresibilidad (Soluciones prácticas para el Ingeniero Químico)

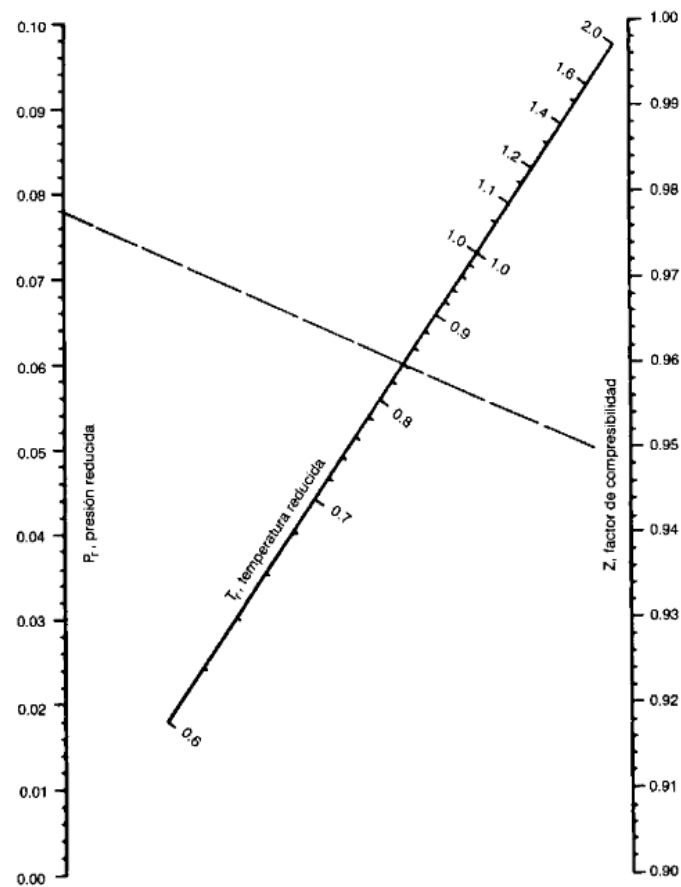


Figura 1. Factor generalizado de compresibilidad. (Reproducida con autorización de *Petroleum Refiner*, volumen 37, No. 11, Copyright 1960 Gulf Publishing Co., Houston.)

Dónde:

T = Temperatura en unidades absolutas coherentes

T_c = Temperatura crítica en unidades absolutas coherentes

$T_r = T/T_c$

P = Presión en unidades absolutas coherentes

P_c = Presión crítica en unidades absolutas coherentes

$P_r = P/P_c$

El punto crítico del metano es:

$$T_c = 191,1 \text{ K} = 344,6 \text{ °R}$$

$$P_c = 4,64 \text{ Mpa} = 673,3 \text{ psia}$$

Las condiciones de operación en la aspiración son:

$$T = -160 \text{ °C} = 204 \text{ °R}$$

$$P = 1 \text{ ata} = 14,7 \text{ psia}$$

Con estos datos se calcula la temperatura y la presión reducida:

$$T_r = 204/344,6 = 0,59$$

$$P_r = 14,7/673,3 = 0,022$$

Entrando en la Figura 6 con estos valores:

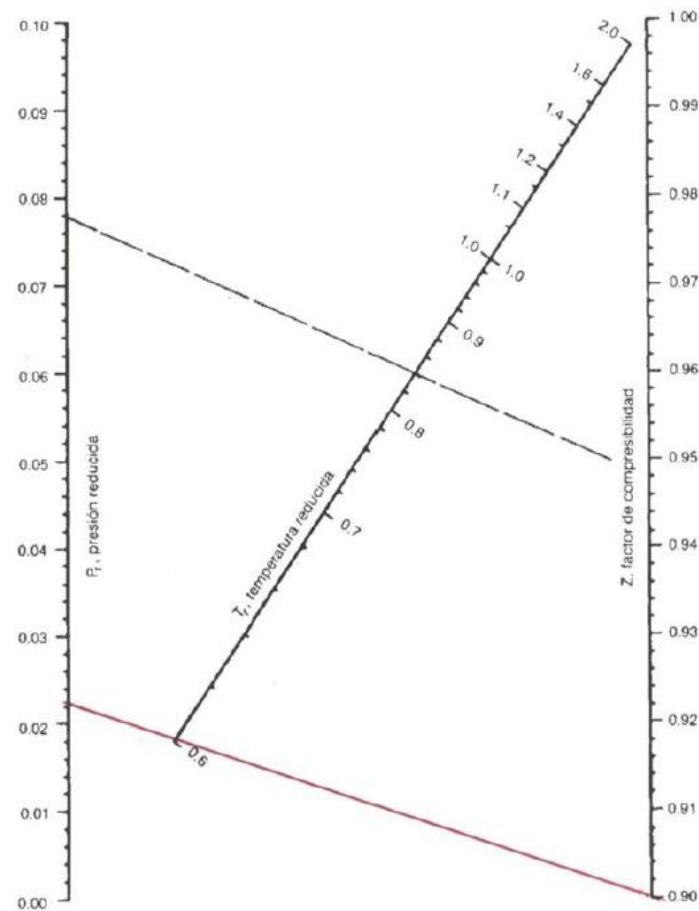


Figura 1. Factor generalizado de compresibilidad. (Reproducida con autorización de *Petroleum Refiner*, volumen 37, No. 11, Copyright 196 Gulf Publishing Co., Houston.)

Se obtiene un factor de compresibilidad $Z = 0,9$

$$P \cdot V = Z \cdot n \cdot R \cdot T \rightarrow V = Z \cdot n \cdot R \cdot T/P$$

$$V = \frac{0,9 \cdot 375 \cdot 10^3 \cdot 0,082 \cdot (-160 + 273)}{1}$$

$$V = 3\,127\,275 \text{ l/h} = 52\,121 \text{ l/min} = 3\,127,3 \text{ m}^3/\text{h} = Q_a$$

Sabiendo que $1 \text{ l/min} = 0,035 \text{ ft}^3/\text{min}$:

$$Q_a = 52\,121 \cdot 0,035 = 1\,824 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Para comparar los rangos de aplicación para las compresoras centrífugas, alternativos y de flujo axial, y seleccionar el tipo de compresor que conviene, se utiliza la Figura 7:

Figura 7: Rangos aproximados de aplicación para las compresoras recíprocas, centrífugas y de flujo axial (Soluciones prácticas para el Ingeniero Químico)

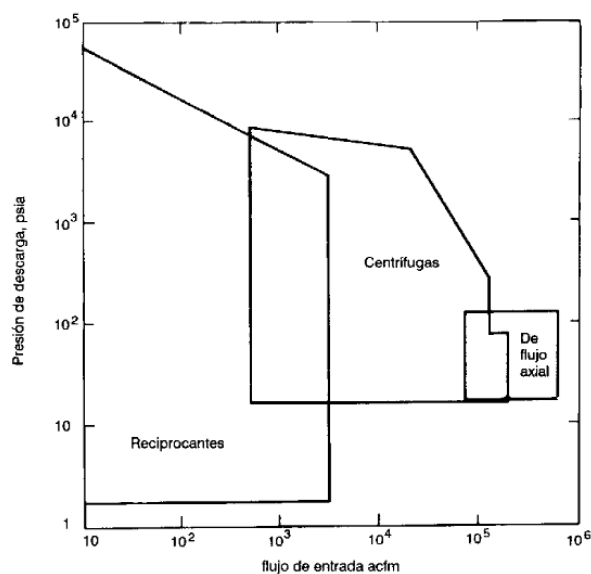
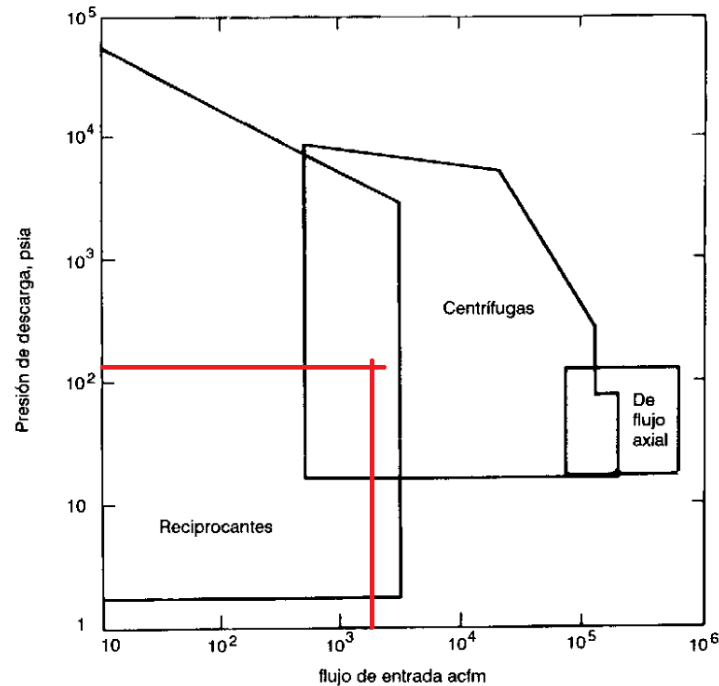


Figura 1. Rangos aproximados de aplicación para las compresoras recíprocas, centrífugas y de flujo axial. (psia = lb/in² absolutas, acfm = ft³/min reales.)

Entrando con los valores en la Figura 7:

Flujo de entrada: $Q_a = 1\,824\text{ ft}^3/\text{min}$

Presión de descarga: $P_i = 10\text{ ata} = 147\text{ psia}$



Como se puede observar en la Figura 7, nuestro compresor se encuentra en el rango de aplicación tanto de compresores alternativos como centrífugos.

La elección de un tipo u otro de compresor debe realizarse como consecuencia de un estudio técnico y económico en el que se tenga en cuenta una serie de variables.

La eficacia de los compresores alternativos recíprocos suele ser superior a la de los compresores centrífugos; en general estos últimos se utilizan para caudales grandes y relaciones de compresión pequeñas, que los alternativos se utilizan para caudales más pequeños y relaciones de compresión superiores y, cuando hay grandes variaciones en las presiones de proceso. La capacidad de estos últimos es casi proporcional a la velocidad. Y la presión de descarga puede aumentar hasta el límite de resistencia mecánica y potencia de máquina motriz.

La limitación en cuanto a presiones de trabajo de los compresores centrífugos se encuentra en el “riesgo de bombeo”, es decir, el repaso de gas desde la impulsión a aspiración por defecto de estanqueidad entre etapas.

En los compresores centrífugos se produce inestabilidad para bajos caudales. Esta inestabilidad produce pulsaciones de presión y de flujo, ruidos y vibraciones que se observan perfectamente desde el exterior.

El precio de los compresores centrífugos es superior al de los compresores alternativos, aunque éste depende del rango de caudales y presiones.

Por las razones citadas anteriormente, en nuestro caso, se va a seleccionar un compresor de tipo alternativo.

Al tratarse de una compresión isentrópica $\rightarrow P \cdot V^\gamma = \text{cte}$

$$P_a \cdot V_a^\gamma = P_i \cdot V_i^\gamma$$

Siendo γ el coeficiente isentrópico.

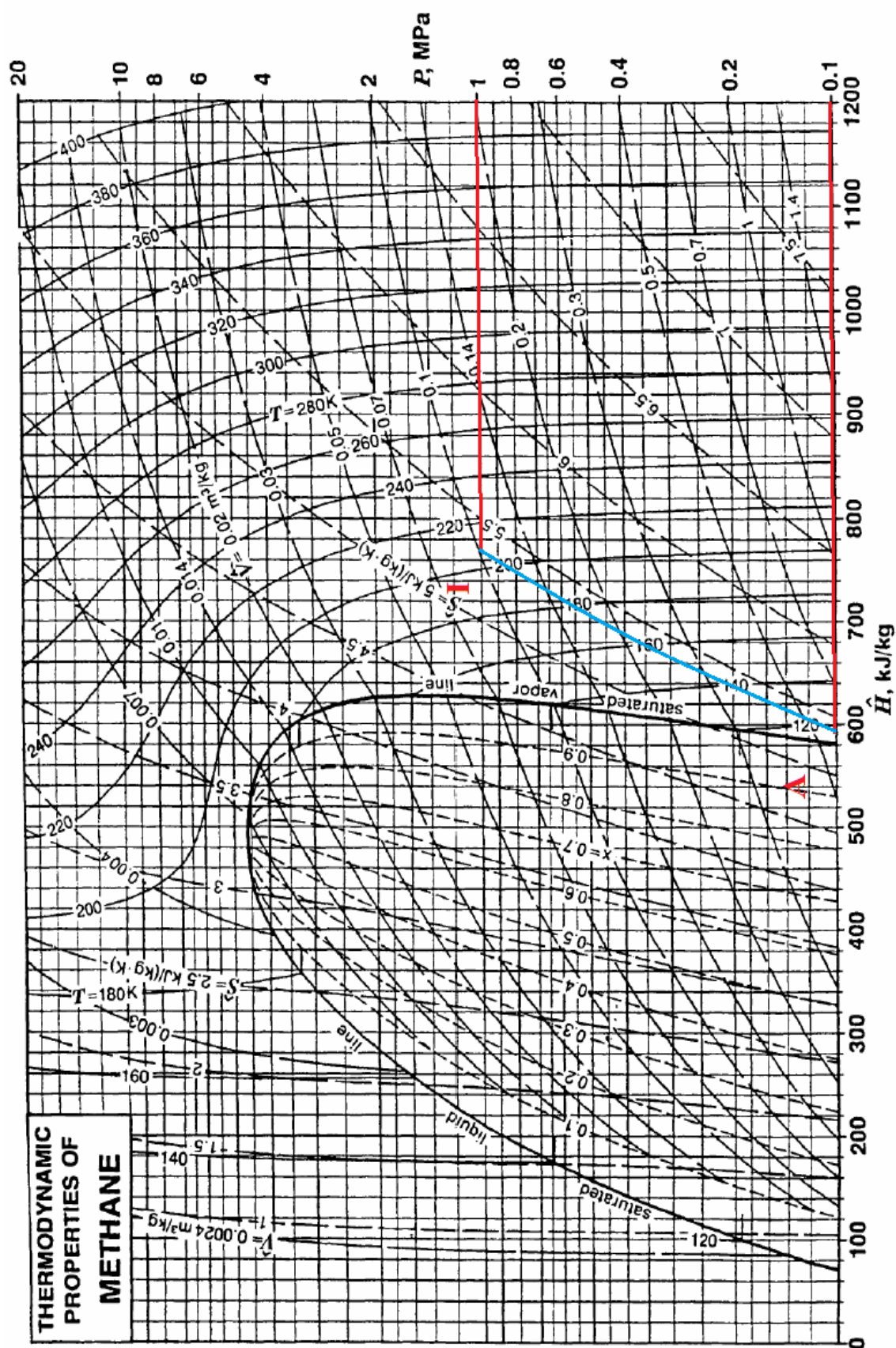
Para el metano, el valor de este coeficiente es $\gamma = 1,31$

$$V_i = \sqrt[\gamma]{\frac{P_a \cdot V_a^\gamma}{P_i}} = \sqrt[1,31]{\frac{1 \cdot 3 \, 127,3^{1,31}}{10}} = 539,2 \, \text{m}^3/\text{h}$$

A partir del diagrama P-H para el metano, se puede obtener la temperatura de impulsión y la potencia del compresor.

El punto I se encuentra trazando una línea de entropía constante en el diagrama de Mollier (Figura 8).

Figura 8: Diagrama de Mollier (Catálogo de compresores Elliot)



Del diagrama se lee:

$$T_{is} = 208 \text{ °K} = -65 \text{ °C}$$

Se define la eficiencia isentrópica (η_s) como:

$$\eta_s = \frac{\text{Trabajo Isentrópico}}{\text{Trabajo Real}} = \frac{h_{is} - h_a}{h_i - h_a} = \frac{T_{is} - T_a}{T_i - T_a}$$

Suponiendo un rendimiento isentrópico del 75% $\rightarrow \eta_s = 0,75$

Se puede despejar la temperatura de impulsión T_i quedando:

$$T_i = T_a + \frac{T_{is} - T_a}{\eta_s}$$

$$T_i = (-160 + 273) + \frac{208 - (-160 + 273)}{0,75}$$

$$T_i = 240 \text{ °K} = -33 \text{ °C}$$

El trabajo isentrópico puede calcularse por la expresión:

$$W_s = H_a - H_{is}$$

Donde:

H_a Es la entalpía específica a la presión y temperatura inicial del gas

H_{is} Es la entalpía específica a la presión y temperatura final del gas

Del diagrama se lee:

$$H_a = 592 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{is} = 768 \text{ kJ/kg}$$

Por lo que se obtiene un trabajo isentrópico:

$$W_s = 592 - 768 = -176 \text{ kJ/kg} = -176\,000 \text{ J/kg}$$

El trabajo real del compresor es mayor pues se ha de tener en cuenta las pérdidas de compresión.

Sabiendo que el rendimiento isentrópico es del 75% $\rightarrow \eta_s = 0,75$

El trabajo será:

$$W = W_s/\eta_s = -176\,000/0,75 = -234\,467 \text{ J/kg}$$

La potencia al eje se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P \text{ (kW)} = \frac{-W \cdot Q}{1000} \quad \text{con} \quad Q = \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \quad W = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Resultando:

$$P = \frac{234\,467 \cdot \frac{6\,000}{3\,600}}{1\,000} = 390 \text{ kW}$$

Suponiendo un rendimiento del compresor del 90%,

$$\text{Si } \eta = 0,9 \rightarrow P = 434 \text{ kW}$$

Resulta difícil alcanzar una determinada relación de compresión con una simple etapa. Además, cuando se desea una compresión muy elevada, $P_i/P_a > 3$ a 5, y a pesar de la refrigeración del cilindro del compresor, el trabajo necesario y la temperatura final de la compresión pueden resultar excesivos. Por ello, se recurre a la compresión escalonada, que consiste en llevar a cabo la compresión total mediante varios compresores en serie. De este modo, la relación de compresión en cada cilindro individual es bastante menor que la global deseada, lo que se traduce en una serie de ventajas:

- Mejora el rendimiento volumétrico.
- Se evitan temperaturas de compresión excesivas que podrían perjudicar el mecanismo del compresor o descomponer el aceite lubricante.
- Se reparte el salto de presión entre varios cilindros.
- Para determinados valores de la razón global de compresión, el compresor multietapa consume menos energía que el de una sola etapa.

Para la compresión escalonada, existe una relación de compresión óptima para cada etapa, que minimiza el trabajo total de compresión. Se puede encontrar este óptimo derivando con respecto a la presión intermedia entre etapas la expresión del trabajo isentrópico, encontrándose que para dos etapas con refrigeración intermedia a T_a , la presión intermedia es alrededor de:

$$P_{int} = (P_{asp} \cdot P_{imp})^{1/2}$$

$$r = P_{int}/P_{asp} = P_{imp}/P_{int} = (P_{imp}/P_{asp})^{1/2}$$

$$P_{int} = (1 \cdot 10)^{1/2} = 3,2 \text{ ata}$$

Teniendo en cuenta pérdidas entre ambas etapas, se va a tomar:

$$P_{\text{salida 1ª etapa}} = 3,51 \text{ ata}$$

$$P_{\text{entrada 2ª etapa}} = 3,43 \text{ ata}$$

Las características principales para un compresor con una capacidad nominal de unos 6 000 kg/h se muestran en la Tabla 17:

Características compresor	1ª Etapa	2ª Etapa
Nº cilindros por etapa	1	1
Presión entrada (kg/cm ² a)	1,01	3,43
Presión salida (kg/cm ² a)	3,51	10,43
Presión máxima (kg/cm ² g)	5	12
Temperatura máxima (°C)	-180/+100	-100/+150
Punto de tarado de válvulas de seguridad (kg/cm ² g)	4,92	11,6
Relación de compresión		
Total	10,3	
Primera etapa	3,48	
Segunda etapa	3,04	
Características motor		
Potencia	450 kW	
Tensión / Frecuencia	6.000 V – 50 Hz	
Revoluciones	328m	

Tabla 17: Características del compresor

16.3.2 RELICUADOR

El relicuador se utiliza para recuperar boil-off que se produce por las entradas térmicas al GNL almacenado en la planta (tanto en los tanques, como en las líneas y equipos asociados) y el generado por el desplazamiento y flash durante una descarga.

La situación más restrictiva se encuentra cuando se realiza descarga de metaneros y la emisión de gas a red es mínima. Por tanto, el relicuador debe tener una capacidad de boil-off de 8 742 kg/h.

Dimensionamiento del relicuador

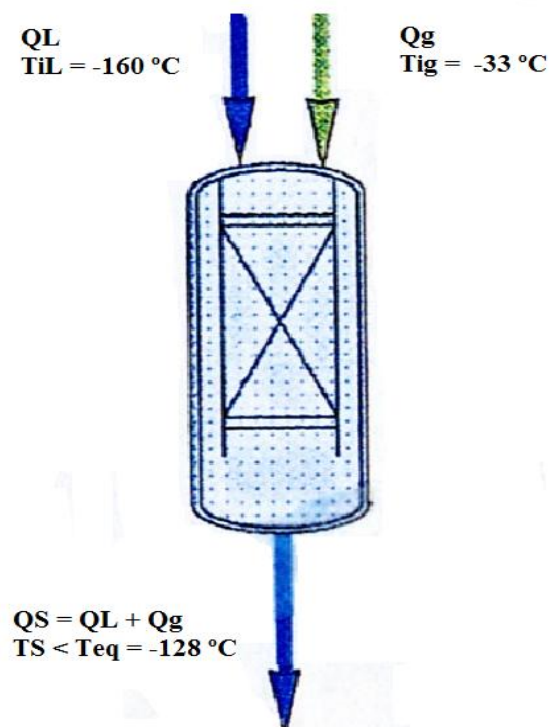
Los vapores que entran al relicuador son condensados en contacto con el GNL subenfriado que se alimenta. El resultado de esta condensación es el aumento de temperatura del GNL, aumento que está limitado por la temperatura de equilibrio de ebullición del GNL a 8 ata, $-128\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Por tanto, el caudal de gas que podemos enviar al relicuador es función del caudal de líquido.

Este caudal de líquido viene determinado en todo momento por las necesidades de emisión de gas del terminal.

Previamente, hay que calcular la relación que debe haber entre el gas (a enfriar) que entra y el gas natural licuado (líquido que enfría) mediante un balance térmico. En la Figura 9 se observa un esquema del balance térmico que hay que realizar.

Figura 9: Balance térmico del relicuador



$$m_L \cdot C_{pl} \cdot (T_{eq} - T_{iL}) = m_g \cdot [\Delta H_{vg} + C_{pg} \cdot (T_{ig} - T_{eq})]$$

Siendo:

mL = caudal de líquido (kg/h)

mg = caudal de gas (kg/h)

Cpl = calor específico del líquido (kcal/kg °C)

Cpg = calor específico del gas (kcal/kg °C)

Tig = T^a de entrada del gas (°C)

Til = T^a de entrada del líquido (°C)

Teq = T^a de equilibrio (°C)

$$\frac{mL}{mg} = \frac{\Delta H_{vg} + Cpg (Tig - Teq)}{Cpl \cdot (Teq - Til)}$$

A una presión de trabajo de 8 ata se tiene:

$\Delta H_{vg} = 429,4 \text{ kJ/kg} = 102 \text{ kcal/kg}$

$Cpl = 0,6 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$

$Cpg = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$

$Teq = -128 \text{ } ^\circ\text{C}$

$Til = -160 \text{ } ^\circ\text{C}$

$Tig = -33 \text{ } ^\circ\text{C}$

Resultando:

$$\frac{\text{mL}}{\text{mg}} = \frac{102 + 0,5 \cdot (-33 + 128)}{0,6 \cdot (-128 + 160)} = 7,8$$

El caudal de boil-off máximo que entraría al relicuador sería de 8 742 kg/h, para lo que serían necesarios:

$$7,8 \cdot 8\,742 = 68\,188 \text{ kg/h de GNL}$$

Es decir, un total en el relicuador de:

$$8\,742 + 68\,188 = 76\,930 \text{ kg/h}$$

Siendo la densidad $\rho = 423 \text{ kg/m}^3$, se obtiene:

$$76\,930 / 423 = 182 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por razones de seguridad, se va a aumentar esta capacidad del relicuador 20%, por lo que se a dimensionar para $220 \text{ m}^3/\text{h}$.

Si se supone un tiempo de residencia en el relicuador de 6 min, se tiene un volumen del relicuador de:

$$V_{\text{relicuador}} = 220 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,1 \text{ h} = 22 \text{ m}^3 \text{ (Volumen útil)}$$

Se dimensiona para un volumen mayor, 30 m^3 totales, teniendo en cuenta que parte del espacio lo ocupa el relleno.

Para una relación $H/D = 2 \rightarrow H = 2D$

$$V_{\text{total relicuador}} = 30 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{total relicuador}} = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot H = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot 2D = \frac{\pi}{2} D^3$$

Resultando aproximadamente:

$$D = 2,7 \text{ m}$$

$$H = 5,4 \text{ m}$$

16.3.3 BOMBAS PRIMARIAS

La planta de regasificación va a tener una capacidad nominal de producción de $150\,000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$, pudiendo alcanzar una producción punta de $225\,000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$. Es en esta condición de operación de producción punta y no descarga de metanero en la que se deben dimensionar las bombas primarias, ya que es la situación más restrictiva.

En el caso de que la producción de la planta de Granadilla no sea simultánea con la descarga de buque metanero, todo el gas producido por la vaporización de GNL en el tanque de almacenamiento se relicuará en el relicuador, ya que no será necesario suministrar parte o totalidad de este gas al buque metanero con el fin de mantener la presión en el interior de sus tanques durante el proceso de descarga.

En tales condiciones el tanque de GNL tendrán que suministrar el gas requerido por la red de gasoductos.

$$\text{Emisión a red:} \quad V_1 = 225\,000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h} \quad T_1 = 4 \text{ °C} \quad P_1 = 72 \text{ bar}$$

Dado que en condiciones normales la densidad del GN es de $0,725 \text{ kg/m}^3$ se obtiene que:

$$m_1 = 225\,000 \cdot 0,725 = 163\,125 \text{ kg/h}$$

Por tanto, el caudal másico total de gas que atravesará los vaporizadores será:

$$m_2 = 163\,125 \text{ kg/h}$$

Por otra parte, el tanque deberá suministrar el GNL necesario para la relicuación de la corriente de gases generados en cada uno de los tanques por la vaporización de

parte del líquido contenido en el mismo. Se estima la ganancia de calor en 0,05% en peso por día del total del líquido en el tanque basado en metano puro.

Ganancia de calor en un tanque:

$$Q = M_{\text{a evaporar}} \cdot \lambda = (\text{Vol}_{\text{tanque}} \cdot \rho_{\text{CH}_4} \cdot 0,05/100) \cdot \lambda_{\text{CH}_4}$$

$$Q = 150\,000 \cdot 419,4 \cdot 0,0005 \cdot 511,3 = 1,6083 \cdot 10^7 \text{ kJ/d}$$

$$Q = 1,6083 \cdot 10^7 \cdot 1/24 \cdot 1/3600 = 186,3 \text{ kW}$$

Se ha considerado:

Volumen de líquido en el tanque ($\text{Vol}_{\text{tanque}}$): $150\,000 \text{ m}^3$

Densidad del metano (-160 °C y 250 mbarg) (ρ_{CH_4}): $419,4 \text{ kg/m}^3$

Calor latente del metano (-160 °C y 250 mbarg) (λ_{CH_4}): $511,3 \text{ kJ/kg}$

Siendo el calor latente de vaporización del GNL almacenado en el tanque de 474 kJ/kg , el resultado es el caudal de GNL vaporizado en el tanque, es decir, el caudal de BOG generado en el tanque:

$$m_{\text{boil-off}} = (186,3 \cdot 3\,600) / 474 = 1\,414 \text{ kg/h}$$

Este es el caudal de BOG generado en un tanque de $150\,000 \text{ m}^3$. Como la planta se va a diseñar teniendo en cuenta una posible ampliación futura de otro tanque de la misma capacidad, el caudal de aporte al sistema de boil-off será:

$$m_5 = m_{\text{boil-off total}} = 1\,414 \cdot 2 = 2\,828 \text{ kg/h}$$

En el apartado 16.3.2. se ha calculado la relación que debe haber entre el gas (a enfriar) que entra en el relicuador y el gas natural licuado procedente de los tanques de almacenamiento (líquido que enfría) mediante un balance térmico. Esta relación ha

resultado de $Q_L/Q_g = 7,8$. Por tanto, el caudal másico de GNL que entra en el relicuador procedente de los tanques es de:

$$m_6 = 2\,828 \cdot 7,8 = 22\,058 \text{ kg/h}$$

Dado que el GNL que sale del relicuador con destino a los vaporizadores es la combinación de dos corrientes, la de boil-off y la de GNL proveniente de los tanques, el caudal másico de GNL a la salida del relicuador será de:

$$m_3 = m_5 + m_6 = 24\,886 \text{ kg/h}$$

Adicionalmente, los tanques de almacenamiento aportan un caudal másico de GNL hacia los vaporizadores sin pasar por el relicuador. Este caudal másico de GNL será de:

$$m_4 = m_2 - m_3 = 138\,239 \text{ kg/h}$$

El caudal que deben suministrar los tanques de GNL para el suministro a la red de gasoductos resulta:

$$m_7 = m_4 + m_6 = 160\,297 \text{ kg/h}$$

Se va a suponer que el transporte de gas a Tenerife sea por gasoducto por lo que, no habrá islas de carga de cisternas.

Así pues, el caudal total a suministrar desde los tanques de GNL será el caudal requerido para el suministro a la red nacional de gasoductos.

$$m_8 = m_7 = 160\,297 \text{ kg/h}$$

Con una densidad de GNL de 424 kg/m^3 a 290 mbarg y -160°C :

$$V_8 = 160\,297 / 424 = 378 \text{ m}^3 \text{ GNL/h}$$

Dado que esta cantidad de GNL tendrá que ser impulsada por tres bombas primarias, cada una de ellas deberá trasegar:

$$V_{\text{bomba primaria}} = 378 / 3 = 126 \text{ m}^3 \text{ GNL} / \text{h por bomba primaria}$$

Dimensionamiento de las bombas primarias

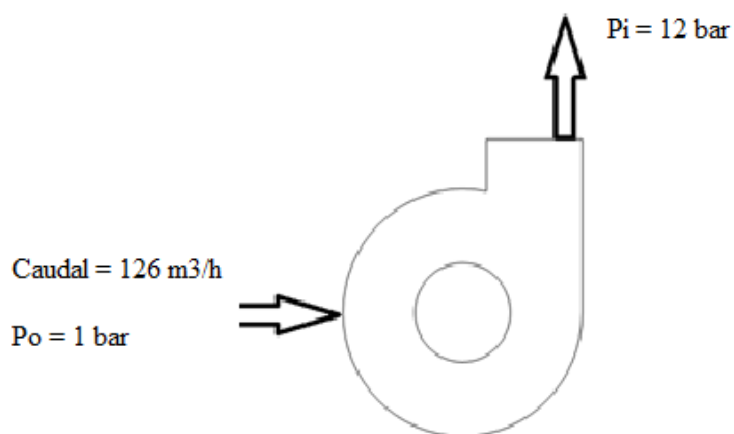
Teniendo en cuenta estos resultados, en la planta de regasificación se van a instalar tres bombas primarias de capacidad nominal $126 \text{ m}^3/\text{h}$ en el tanque de almacenamiento, cada una trabajando en paralelo.

Además se instalará en cada tanque una cuarta bomba de reserva con las mismas características a las anteriores.

Los datos de partida se muestran en la Tabla 18:

Fluido	GNL
Caudal	$126 \text{ m}^3/\text{h}$
Densidad del fluido (-160 °C y 1 atm)	420 kg/m^3
Presión de origen	1,013 bar
Presión de impulsión	12 bar

Tabla 18: Características del GNL



La presión de aspiración de la bombas es la presión origen del depósito origen más la presión estática restando la presión que pierde el por las pérdidas de fricción en la tubería de aspiración.

$$P_{asp} = P_o + P_e - \Delta p_{fa}$$

La presión estática es la presión que ejerce la columna de líquido sobre la bomba, debido a la diferencia de alturas entre el nivel del tanque y la aspiración.

Suponiendo un nivel medio de GNL en el tanque de 15 m de altura, la presión estática sería de:

$$P_e = \rho \cdot g \cdot H = 420 \cdot 9,81 \cdot 15 = 61\,803 \text{ Pa}$$

$$P_e = 0,618 \text{ bar}$$

Despreciando las pérdidas por fricción en la tubería de aspiración, la presión de aspiración resulta:

$$P_{asp} = 1,013 + 0,618 = 1,631 \text{ bar}$$

El NPSHD disponible se calcula del siguiente modo:

$$\text{NPSHD} = P_{asp} - P_{vap}$$

La presión de vapor del fluido a la temperatura de trabajo -160 °C es: 0,882 bar

$$\text{NPSHD} = 1,631 - 0,882 = 0,749 \text{ bar}$$

$$\text{NPSHD (m)} = 0,749 \cdot 10^5 / (420 \cdot 9,81) = 18,18 \text{ m}$$

El GNL tiene que llegar al relicuador, o en su caso a las bombas secundarias, con una presión mínima de 9 bar. Por lo tanto, teniendo en cuenta las pérdidas de carga

en las tuberías de impulsión se van a dimensionar las bombas primeras con una presión de impulsión de 12 bar.

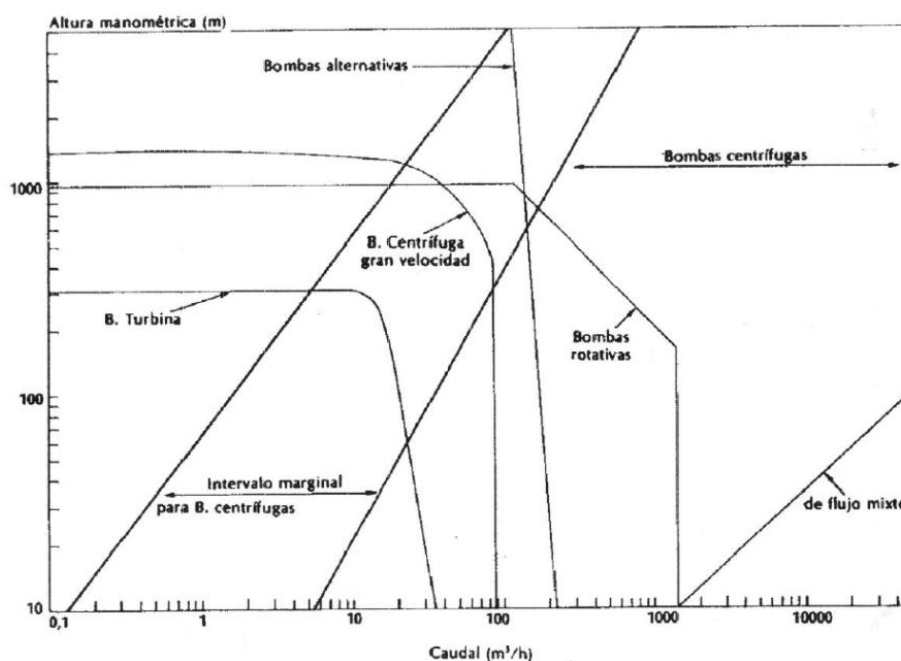
La altura diferencial tendrá un valor de:

$$P_{\text{dif}} = P_{\text{imp}} - P_{\text{asp}} = 12 - 1,631 = 10,369 \text{ bar}$$

$$\Delta H_{\text{dif}} = P_{\text{dif}} \cdot 10^5 / (\rho \cdot g) = 10,369 \cdot 10^5 / (420 \cdot 9,81) = 252 \text{ m}$$

En la Figura 10 que se muestra a continuación se observan los diferentes rangos de aplicación de los distintos tipos de bombas, y permite seleccionar el tipo de bomba más conveniente.

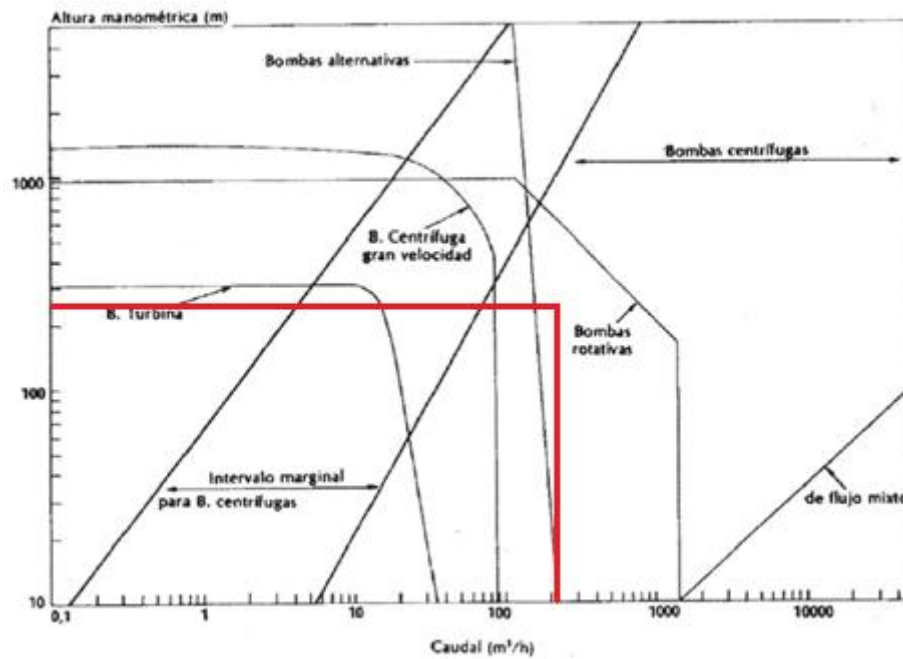
Figura 10: Rangos de aplicación de las bombas (Soluciones prácticas para el Ingeniero Químico)



En nuestro caso, entrando en la Figura 10 con los siguientes valores:

$$\text{Caudal} = 126 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta H_{\text{dif}} = 252 \text{ m}$$



Se puede observar que el punto en la Figura 10 se encuentra en el rango de aplicación tanto de bombas rotativas como de bombas centrífugas.

En los tanques de almacenamiento de GNL se instalarán bombas centrífugas por sus numerosas ventajas:

- Su construcción es simple y su precio bajo.
- El fluido es entregado a presión uniforme, sin variaciones bruscas ni pulsaciones. Son muy versátiles.
- La línea de descarga puede interrumpirse, o reducirse completamente, sin dañar la bomba.
- Poco espacio ocupado.
- Económicas y fáciles de mantener.
- No alcanzan presiones excesivas aún con la válvula de descarga cerrada.
- Flujo suave no pulsante.

- Impulsor y eje son las únicas partes en movimiento.
- No tiene válvulas ni elementos recíprocos.
- Flexibilidad de regulación.

La potencia hidráulica de la bomba viene dada por:

$$P = \Delta H_{\text{dif}} \cdot g \cdot m \text{ (kg/s)} / 1\,000$$

$$P = 252 \cdot 9,81 \cdot (126 \cdot 420 / 3\,600) / 1\,000 = 36 \text{ kW}$$

Suponiendo un rendimiento mecánico del 70% ($\eta = 0,7$), se tiene que la potencia al eje de la bomba es:

$$P = 36 / 0,7 = 52 \text{ kW}$$

Para calcular la temperatura de descarga se conoce que el incremento de temperatura del bombeo es la suma del incremento por fricción más el de compresión del líquido:

$$\Delta T_{\text{total}} = \Delta T_{\text{fricción}} + \Delta T_{\text{compresión}}$$

$$\Delta T_{\text{fricción}} = h_p \cdot \frac{\frac{1}{\eta} - 1}{778 \text{ cp}}$$

$$\Delta T_{\text{compresión}} = \frac{(P_{\text{imp}} - P_{\text{asp}})}{1000} e^{3,77 - 3,729 G}$$

Donde todas las unidades están en el sistema inglés:

T (°F)

$$h_p \text{ (pies): } 252 \cdot 0,3048 = 76,81$$

$$C_p \text{ (BTU/lb°F): } 0,6$$

$$P \text{ (psi)} \rightarrow 1 \text{ bar} = 14,51 \text{ psi}$$

$$G \text{ (densidad relativa} = 0,5 \text{ para metano)}$$

$$\Delta T_{\text{fricción}} = 76,81 \cdot (1/0,7 - 1) / (778 \cdot 0,6) = 0,07$$

$$\Delta T_{\text{compresión}} = (12 - 1,631) \cdot 14,51 / 1000 \cdot e^{3,77 - 3,729 \cdot 0,5} = 1,01$$

$$\Delta T_{\text{total}} = 0,07 + 1,01 = 1,08$$

Sabiendo que la temperatura de aspiración en las bombas primarias es de -160 °C, se tiene que la temperatura en la impulsión es de:

$$T_{\text{imp}} = T_{\text{asp}} + \Delta T_{\text{total}} = -160 + 1,08 = -159 \text{ °C}$$

Las características principales de una bomba primaria de dos etapas con un caudal nominal de 126 m³/h se muestran en la Tabla 19:

Caudal nominal	126 m ³ /h
Caudal en el punto de máximo rendimiento	144 m ³ /h
Caudal mínimo / máximo continuo	60 / 180 m ³ /h
Altura diferencial nominal	252 m
Altura diferencial a válvula cerrada	330 m
Presión de aspiración	0,1 a 1,8 bar
Temperatura de diseño	-196 °C
Características del motor	
Potencia	52 kW
Tensión / fases / frecuencia	380 V / 3 / 50 Hz
Revoluciones	3000 rpm (2 polos)

Tabla 19: Características de la bomba primaria

16.3.4 BOMBAS SECUNDARIAS

En régimen de producción nominal no será necesaria la operación del vaporizador de combustión sumergida, por lo que el caudal de gas derivado a este equipo será nulo.

$$\text{Emisión a red: } V_1 = 150\,000 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h} \quad T_1 = 4 \text{ °C} \quad P_1 = 72 \text{ bar}$$

Dado que en condiciones normales la densidad del GN es de 0,725 kg/m³(n) se obtiene que:

$$m_1 = 150\,000 \cdot 0,725 = 108\,750 \text{ kg/h}$$

Por tanto, el caudal másico total de gas que atravesará los vaporizadores será:

$$m_2 = 108\,750 \text{ kg/h}$$

Así, el flujo másico que deberían trasegar las bombas secundarias será directamente el mismo que luego es vaporizado para su emisión a red:

$$m_{\text{bombas secundarias}} = m_2 = 108\,750 \text{ kg/h}$$

La aspiración de las bombas secundarias se realizará en torno a 8 barg y una temperatura aproximada de $-157\text{ }^{\circ}\text{C}$. En estas condiciones la densidad del GNL es de $419,9 \text{ kg/m}^3$.

$$V_{\text{bombas secundarias}} = 108\,750 / 419,9 = 259 \text{ m}^3/\text{h}$$

Al disponer de tres bombas operando simultáneamente, cada una de ellas deberá vehicular un caudal de:

$$V_{\text{bomba secundaria}} = 259 / 3 = 87 \text{ m}^3/\text{h}$$

Las bombas secundarias se van a instalar de tal forma que cada vaporizador en funcionamiento esté asociado a una bomba secundaria. Por lo tanto, se instalarán dos bombas secundarias cada una asociada a un vaporizador de agua de mar, así como una tercera bomba asociada al vaporizador de combustión sumergida de las mismas características que las anteriores que entrará en funcionamiento en condiciones de producción punta.

Dimensionamiento de las bombas secundarias

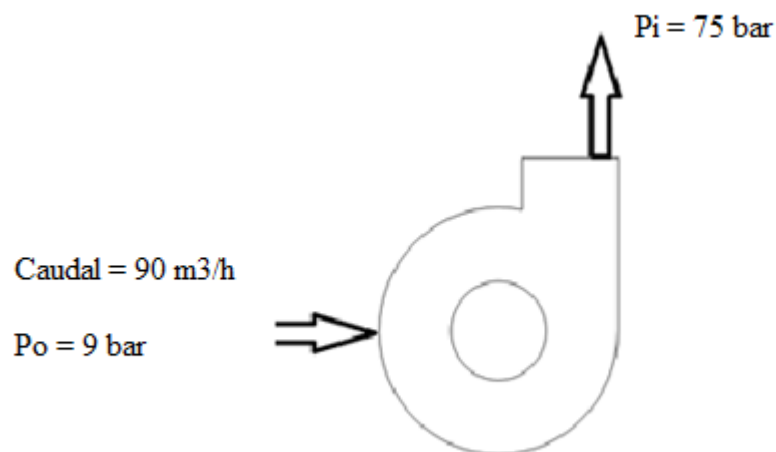
Redondeando al alza la capacidad obtenida anteriormente por motivos de seguridad, se van a instalar tres bombas secundarias de capacidad $90 \text{ m}^3/\text{h}$ cada una que trabajarán en paralelo.

Además se instalará una bomba adicional de reserva con las mismas características para que funcione en caso de fallo o mantenimiento de alguna de las anteriores.

Los datos de partida se muestran en la Tabla 20:

Fluido	GNL
Caudal	90 m ³ /h
Densidad del fluido (-160 °C y 1 atm)	423 kg/m ³
Presión de origen	9 bar
Presión de impulsión	75 bar

Tabla 20: Características del GNL



La presión de aspiración de la bomba es la presión origen del depósito más la presión estática restando la presión que pierde el fluido por las pérdidas de fricción en la tubería de aspiración.

$$P_{asp} = P_o + P_e - \Delta p_{fa}$$

La presión estática es la presión que ejerce la columna de líquido sobre la bomba, debido a la diferencia de alturas entre el nivel del tanque y la aspiración.

Suponiendo igualdad entre la presión estática y las pérdidas por fricción, se tiene una presión de aspiración:

$$P_{asp} = 9 \text{ bar}$$

El NPSHD disponible se calcula del siguiente modo:

$$\text{NPSHD} = P_{\text{asp}} - P_{\text{vap}}$$

La presión de vapor del fluido a la temperatura de trabajo -160°C es: 0,882 bar

$$\text{NPSHD} = 9 - 0,882 = 8,12 \text{ bar}$$

$$\text{NPSHD (m)} = 8,12 \cdot 10^5 / (420 \cdot 9,81) = 197 \text{ m}$$

El GNL tiene que llegar a la red de distribución con una presión de 72 bar. Por lo tanto, teniendo en cuenta las pérdidas de carga en las tuberías de impulsión y los vaporizadores, se van a dimensionar las bombas secundarias con una presión de 75 bar.

La altura diferencia tendrá un valor de:

$$P_{\text{dif}} = P_{\text{imp}} - P_{\text{asp}} = 75 - 9 = 66 \text{ bar}$$

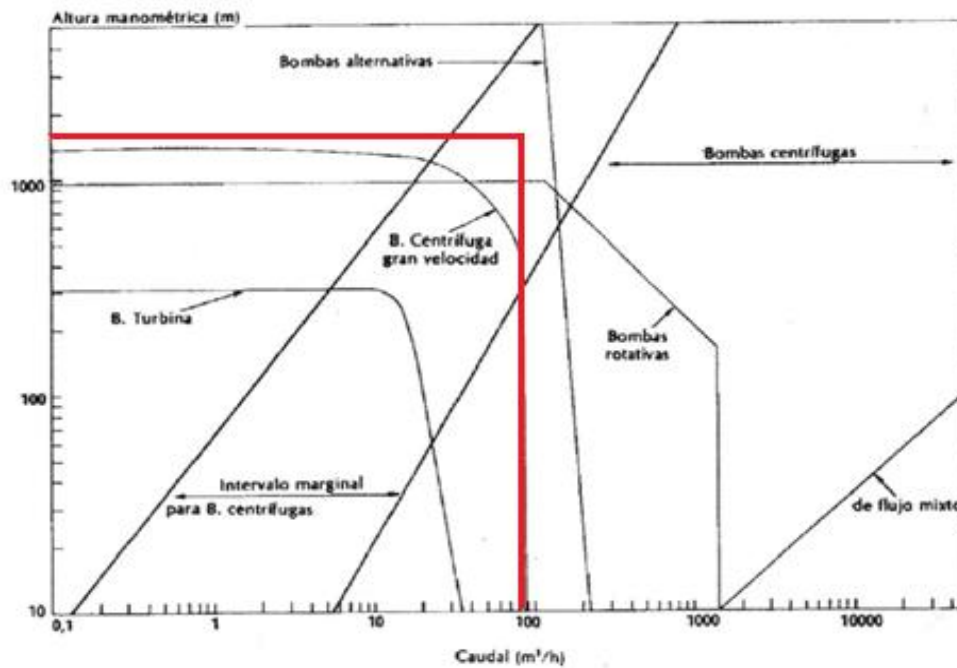
$$\Delta H_{\text{dif}} = P_{\text{dif}} \cdot 10^5 / (\rho \cdot g) = 66 \cdot 10^5 / (420 \cdot 9,81) = 1\,602 \text{ m}$$

En el gráfico que se muestra a continuación se pueden observar los diferentes rangos de aplicación de los distintos tipos de bombas, y permite seleccionar el tipo de bomba más conveniente.

En nuestro caso, entrando en la Figura 10 con los siguientes valores:

$$\text{Caudal} = 90 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta H_{\text{dif}} = 1\,602 \text{ m}$$



Se puede observar que el punto en la Figura 10 se encuentra en el rango de aplicación de las bombas centrífugas.

La potencia hidráulica de la bomba viene dada por:

$$P = \Delta H_{\text{dif}} \cdot g \cdot m \text{ (kg/s)} / 1\,000$$

$$P = 1\,602 \cdot 9,81 \cdot (90 \cdot 420 / 3\,600) / 1\,000 = 165 \text{ kW}$$

Suponiendo un rendimiento mecánico del 70% ($\eta = 0,7$), se tiene que la potencia al eje de la bomba es:

$$P = 165 / 0,7 = 236 \text{ kW}$$

Para calcular la temperatura de descarga se conoce que el incremento de temperatura del bombeo es la suma del incremento por fricción más el de compresión del líquido:

$$\Delta T_{\text{total}} = \Delta T_{\text{fricción}} + \Delta T_{\text{compresión}}$$

$$\Delta T_{\text{fricción}} = h_p \cdot \frac{\frac{1}{\eta} - 1}{778 \text{ cp}}$$

$$\Delta T_{\text{compresión}} = \frac{(P_{\text{imp}} - P_{\text{asp}})}{1000} \cdot e^{3,77 - 3,729 G}$$

Donde todas las unidades están en el sistema inglés:

T (°F)

h_p (pies): $1\,602 \cdot 0,3048 = 488$

C_p (BTU/lb°F): 0,6

P (psi) \rightarrow 1 bar = 14,51 psi

G (densidad relativa = 0,5 para metano)

$$\Delta T_{\text{fricción}} = 488 \cdot (1/0,7 - 1) / (778 \cdot 0,6) = 0,44$$

$$\Delta T_{\text{compresión}} = (75 - 9) \cdot 14,51 / 1000 \cdot e^{3,77 - 3,729 \cdot 0,5} = 6,44$$

$$\Delta T_{\text{total}} = 0,44 + 6,44 = 6,88$$

Sabiendo que la temperatura de aspiración en las bombas secundarias es de aproximadamente -157 °C, se tiene que la temperatura en la impulsión es de:

$$T_{\text{imp}} = T_{\text{asp}} + \Delta T_{\text{total}} = -157 + 6,88 = -150 \text{ °C}$$

A continuación se indican las características principales de una bomba secundaria de nueve etapas con este caudal nominal de 90 m³/h:

Caudal nominal	90 m ³ /h
Caudal en el punto de máximo rendimiento	100 m ³ /h
Caudal mínimo / máximo continuo	35 / 120 m ³ /h
Altura diferencial nominal	1602 m
Altura diferencial a válvula cerrada	1950 m
Presión de aspiración	9 bar
Temperatura de diseño	-196 °C
Características del motor	
Potencia	236 kW
Tensión / fases / frecuencia	6.000 V / 3 / 50 Hz
Revoluciones	3000 rpm

Tabla 21: Características de la bomba secundaria

16.3.5 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE GNL

Como ya se ha dicho, se pretende instalar un tanque de almacenamiento de GNL de 150 000 m³.

Este depósito va a estar constituido por dos recipientes separados por un espesor importante de aislamiento. A pesar de este aislamiento, los inevitables aportes de calor provenientes del exterior se traducen en una evaporación del producto a temperatura constante.

Dimensionamiento de los tanques de almacenamiento

En nuestro caso, el depósito tendrá un diámetro interno de 77,6 m y una altura interna de 52 m.

Para un depósito cilíndrico como el que se tiene, conteniendo GNL a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una temperatura exterior de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y utilizando aislamientos cuya conductividad no sobre pase lo $0,04\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, se puede obtener por medio de la siguiente expresión una estimación del espesor de aislamiento necesario:

$$e = \frac{2,5}{E \cdot D}$$

Siendo:

e = espesor del aislamiento en cm

E = tasa de evaporación en tanto por ciento por día

D = diámetro del depósito en m

Por lo que se obtiene un espesor del aislamiento de:

$$e = 2,5 / (0,0005 \cdot 77,6) = 65\text{ cm}$$

Además del aislamiento, hay que colocar manta resiliente de lana mineral para amortiguar las deformaciones por cambios de temperatura, por tanto, el espacio anular entre las paredes de ambos tanques se va a redondear a 1 m. Teniendo en cuenta que la pared del recipiente externo va a ser de unos 0,8 m, queda un diámetro exterior del recipiente externo de:

$$De = 77,6 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,8 = 81,2\text{ m}$$

El recipiente externo tiene un revestimiento interno para asegurar estanqueidad frente a los vapores de GNL. Su parte superior es esférica con una pared de espesor 0,5 m. Se estima una altura exterior de:

$$He = 64\text{ m}$$

A continuación se indican las características principales de un tanque de almacenamiento de GNL de contención total de capacidad útil 150 000 m³.

Capacidad de almacenaje	150 000 m ³
Años de vida a los que se diseña la estructura	50 años
Diseño sísmico	0,02g para OBE y 0,04g para SSE
Datos geotécnicos	Referente al terreno
Producto a almacenar	GNL, con densidad 480 kg/m ³
Tasa de llenado	12 000 m ³
Temperatura de diseño (máx.)	40 °C
Temperatura de diseño (metal)	-168 °C
Presión de diseño (mín.)	-10 mbarg
Presión de diseño (máx.)	+290 mbarg
Presión media	50 a 250 mbarg
Presión del test neumático	362,5 mbarg
Número de bombas	2 + 1
Corrosión permitida	0 mm
Porcentaje de escape por las válvulas (máx.)	0,05% al día
Nivel normal del fluido	37,92 m
Nivel máx. del fluido	38,69 m
Nivel mín. del fluido	1,93 m
Altura del tanque interior	39,53 m
Diámetro del tanque interior	71,35 m

Tabla 22: Características del tanque de almacenamiento de contención total

Descripción de los tanques de almacenamiento

Tanque de almacenamiento de 150 000 m³ de capacidad útil, de contención total constituidos por un tanque interior metálico (acero al 9% de Ni) y un tanque exterior de hormigón con un revestimiento interno de este último estanco a los vapores del GNL.

El espacio anular entre las paredes de ambos tanques está aislado mediante un relleno de perlita y una manta resiliente de lana mineral con objeto de amortiguar las deformaciones diferenciales por cambios de temperatura del conjunto.

El fondo de hormigón del depósito externo se atraviesa por una serie de tubos conteniendo resistencias de calefacción para evitar la congelación del terreno.

El depósito está diseñado para una presión diferencial con la atmósfera comprendida entre aproximadamente +290 mbarg y -15 mbarg, oscilando la presión de operación entre 100 y 250 mbarg.

Todas las conexiones de entrada y salida del líquido y gas al tanque se hacen a través de la cúpula como medida esencial de seguridad pasiva para evitar fugas de GNL por las conexiones.

- Diseño del tanque exterior

El tanque exterior del depósito está formado por una estructura de hormigón que consta de tres partes principalmente: jácena anular, pared anular y cúpula.

- Cúpula

La cúpula del tanque está formada por una estructura metálica de acero con una capa de hormigón armado.

El techo deberá estar provisto de un revestimiento resistente al agua, independientemente del tipo concreto utilizado.

Uno de los parámetros básicos de su diseño es el radio de curvatura. Típicamente en los tanques de GNL este parámetro coincide con el diámetro de la pared del tanque. Un criterio que se suele utilizar para cúpulas es dar un radio de curvatura de $1/8$ respecto al diámetro de la estructura sustentadora ya que es óptima para soportar su propio peso y las posibles sobrecargas. En los tanques de GNL interesa aumentar este radio porque así se puede soportar la misma presión interna con una reducción de tensiones.

No hay ninguna norma específica para el radio de curvatura pero se puede seguir la API650 que indica que dicho radio ha de estar comprendido entre $0,8d$ y $1,2d$. Si hubiese problemas estructurales se podría aumentar el grosor de la chapa.

- **Viga anular**

La viga anular se encuentra en la articulación del techo y la pared. La función principal de esta viga es soportar y transmitir al muro los esfuerzos que ve la cúpula. Las dimensiones de la viga y su armado tienen una estrecha relación con la forma de la cúpula. En esta viga va unido el anillo de compresión que es el que hace de sellado entre la cúpula y la pared.

- **Anillo de compresión**

La construcción de la cúpula se realiza al nivel del suelo y será elevada por medio de aire comprimido hasta hacer tope con el anillo de compresión. Una vez la cúpula está en su sitio es soldada al anillo de compresión.

Este elemento estructural consiste en un aro metálico que se construye en la parte superior-interior del tanque exterior. Se diseña para que soporte primeramente toda la presión de la cúpula en el momento de soldadura entre ella y el anillo y después soportará cierta carga de la cúpula.

- Pared

El hormigón de la pared del tanque exterior deberá tener un armado pretensado en sentido horizontal. La unión del muro con la base ha de diseñarse como un conjunto fijo (estructura monolítica). La unión entre la losa y la pared tendrá un tramo en forma de tronco-cono. En la parte superior de la pared se encuentra la viga anular. También la unión pared-techo se ha de hacer como una construcción monolítica. Techo y pared tendrán espesor uniforme o un espesor que varía de forma gradual.

En el diseño de la armadura y los sistemas de pretensado, se tendrá debidamente en cuenta las posibles temperaturas más bajas después de un error (en parte) del tanque interno.

El tanque exterior deberá estar equipado con un forro de metal en el interior, que deberá crear una barrera de vapor para evitar condensaciones y como consecuencia evitar que la zona de aislamiento con perlita expandida aumente la humedad existente. Las soldaduras de dicha capa metálica que actuará de barrera han de ser comprobadas con un examen de tinte permanente.

El gran problema en el diseño es que el espesor de la pared es exagerado por lo que generalmente se introduce una armadura también en sentido vertical y se utiliza un hormigón de muy alta calidad.

Para el diseño del tanque se tienen en cuenta un espesor de la pared de hormigón de 1 m de ancho. Habrá un armado pretensado en sentido horizontal y se utilizará un hormigón de muy alta calidad.

- Diseño del tanque interior

- Techo suspendido

El techo será de aluminio. El techo suspendido ha de ser diseñado para soportar cargas permanentes y temporales. Ha de ser capaz de soportar una fuerza puntual de 1,5 kN en cualquier punto. Hay que diseñar también los diferentes orificios tanto para las tuberías y detectores como para mantener una presión entre el tanque interior y exterior estable.

- Protección esquina inferior

En la parte inferior de la pared anular del tanque se realizará una protección especial. En el supuesto de que el tanque interior tenga pérdidas de fluido instalando dicha protección se evitaría el colapso de la estructura de hormigón debido a la diferencia de temperaturas. Dicha protección consiste en colocar una placa anular de mayor espesor que la utilizada en el suelo para evitar de esta manera cualquier tipo de fuga.

- Descripción de la cimentación

El sistema de cimentación será diseñado para limitar las deformaciones del exterior (e interior) del tanque a los límites permisibles para todos los casos de carga creíble, tanto durante la construcción como en la fase de operación. La interacción entre el tanque y la cimentación debe ser tomada en cuenta en el análisis estructural y de suelos.

Típicamente se utiliza una losa de cimentación para que no haya problemas con los sismos y con los terrenos ya que son terrenos que se encuentran tocando al mar.

En el diseño de los tanques se va a optar por cimentar la estructura con una losa de 1 m de profundidad.

Para intentar reducir al mínimo el diferencial de los asentamientos previamente se hará un precarga sobre el terreno para aumentar la rigidez de las capas de cimentación.

Hay que tener en cuenta en el diseño de la cimentación un drenaje para las aguas pluviales.

Para evitar una posible congelación del terreno se instalará un sistema de calefacción formado por resistencias eléctricas. Dicho sistema estará situado en el punto medio de la profundidad de la cimentación.

- Aislamiento térmico del tanque interior

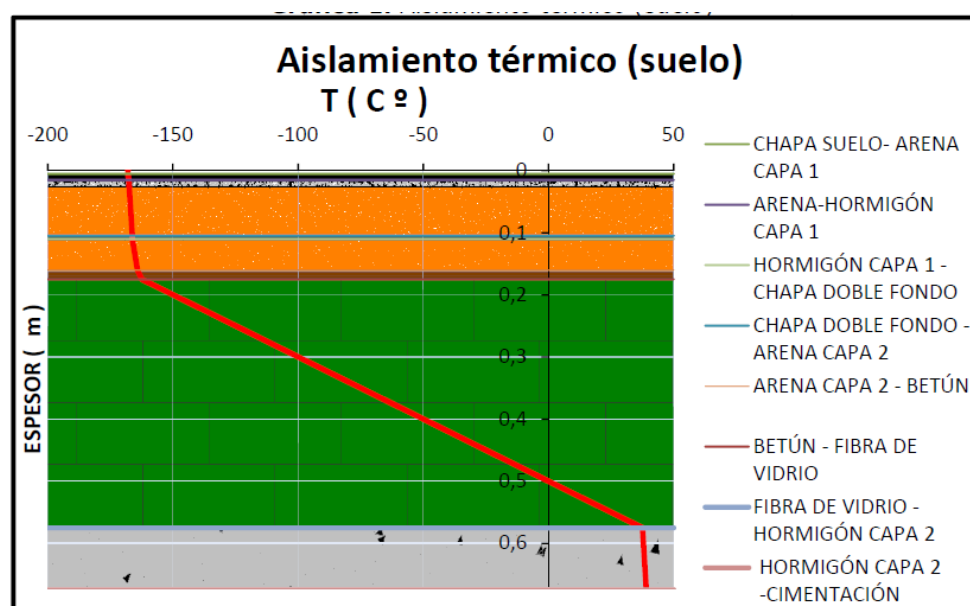
- Aislamiento del suelo

El suelo del tanque tiene una protección térmica compuesta por una serie de capas materiales aislantes (foamglass, arena y betún) como se muestra en la Tabla 23 y Figura 11.

1.Tanque interno (Acero 9% Ni)		5.Capa de arena 2	
Ti	-168	V	-166,21
Te	-167,99	Te	-164,21
Cond. Térmica	209,3	Cond. Térmica	0,5
D	0,005	D	0,05
2.Capa d arena 1		6.Capa bituminosa	
Ti	-167,99	Ti	-164,21
Te	-167,59	Te	-162,45
Cond. Térmica	0,5	Cond. Térmica	0,17
D	0,01	D	0,015
3.Hormigón capa 1		7.FOAMGLASS®	
Ti	-167,59	Ti	-162,45
Te	-166,21	Te	37,54
Cond. Térmica	1,3	Cond. Térmica	0,04
D	0,09	D	0,4
4.Tanque interior(doble fondo de 9% Ni)		8.Hormigón capa 2	
Ti	-166,21	Ti	37,54
Te	-166,21	Te	39,08
Cond. Térmica	28,215	Cond. Térmica	1,3
d	0,005	d	0,1

Tabla 23: Aislamiento del suelo (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)

Figura 11: Aislamiento térmico (suelo) (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)



▪ Aislamiento de pared

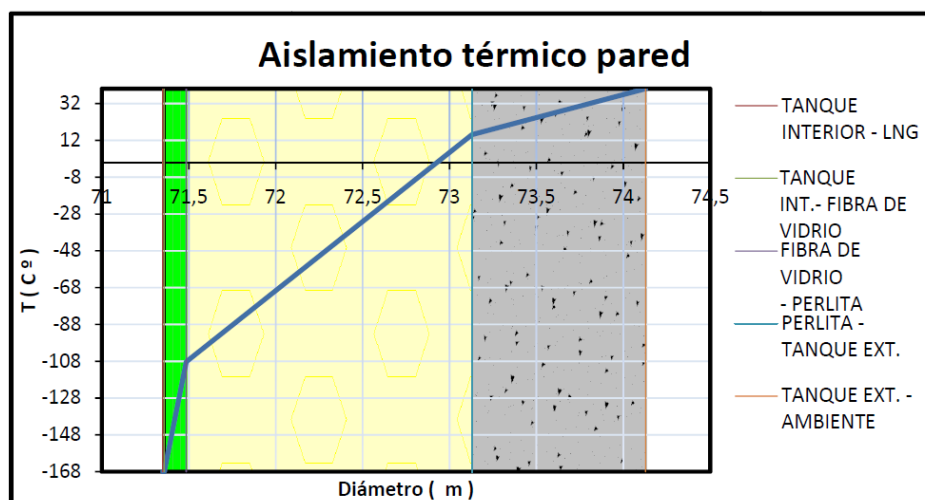
El espacio vacío entre los dos tanques está relleno de perlita expandida, en la parte exterior del tanque interior se encuentra una capa de fibra de vidrio. En la parte superior del espacio anular se hará una reserva de perlita porque así cuando el tanque interior se contraiga se llenará el vacío con perlita. La perlita expandida debe cumplir la ASTM que como mínimo ha de cumplir que:

- La conductividad térmica no sea superior a $0,44 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ a 0°C .
- La densidad ha de estar comprendida entre 50 kg/m^3 y 65 kg/m^3 .
- La humedad máxima admisible en peso es del 0,5%.

1. Tanque interior		2. Manta de fibra de vidrio	
Ti	-168,00	Ti	-167,99
Te	-167,99	Te	-108,30
R1	0,00	R1	0,00
Dext	71,36	Dext	71,49
Dint	71,35	Dint	71,36
Cond. Térmica	28,22	Cond. Térmica	0,07
3. Perlita expandida		4. Pared de hormigón	
Ti	-108,30	Ti	15,06
Te	15,06	Te	40,00
R1	0,01	R1	0,00
Dext	73,13	Dext	74,13
Dint	71,49	Dint	73,13
Cond. Térmica	0,44	Cond. Térmica	1,30

Tabla 24: Aislamiento pared (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)

Figura 12: Aislamiento térmico (pared) (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)



En la cubierta suspendida se dispondrá de una tolva de reservas de perlita, para cuando haya una contracción del tanque interior, el espacio vacío que dejaría sea rellenado con esta reserva que se ha diseñado. El volumen total de perlita en la tolva es de 810 m^3 (altura exceso de 2 m). Esta cantidad de volumen no permitiría una reducción de la altura y el diámetro del tanque de 9,5 cm.

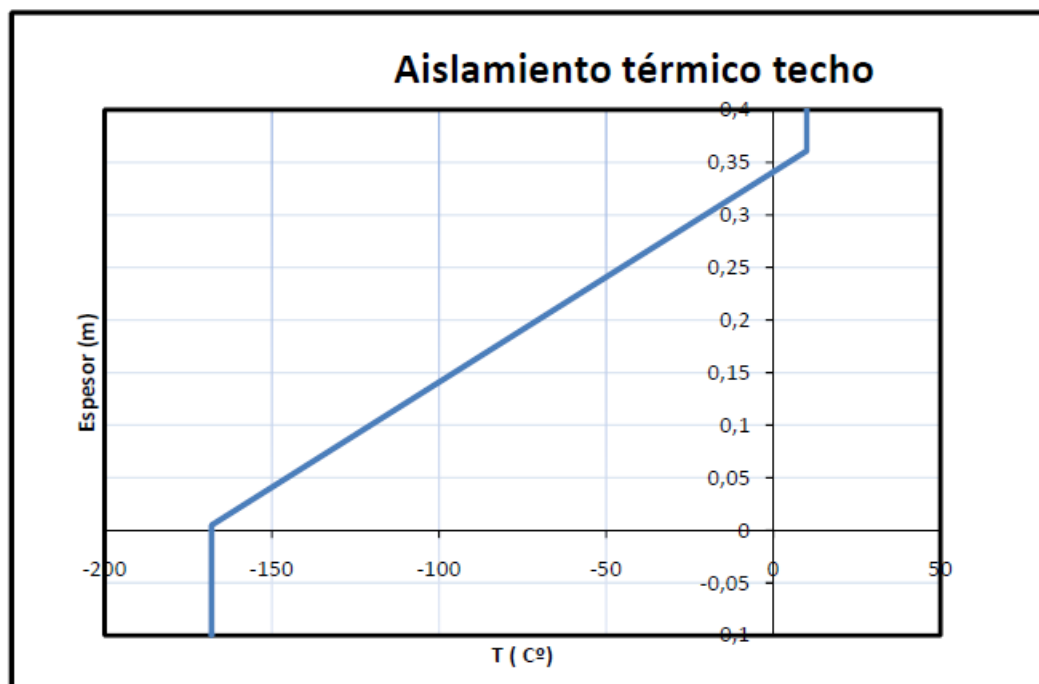
▪ Aislamiento del techo suspendido

El techo suspendido se aislará con varias capas de fibra de vidrio mostradas en la Tabla 25.

1. Tanque interior		2. fibra de vidrio	
Ti	-168,00	Ti	-168,00
Te	-168,00	Te	10,00
Cond. Térmica	209,30	Cond. Térmica	0,04
d	0,01	d	0,36

Tabla 25: Aislamiento techo (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)

Figura 13: Aislamiento térmico (techo) (Manual de plantas de regasificación. Sedigas)



16.3.6 VAPORIZADORES AGUA DE MAR

Como ya se ha dicho, la planta de regasificación va a tener una capacidad nominal de producción de 150 000 m³(n)/h.

El vaporizador de agua de mar que se va a utilizar tiene una capacidad de producción de 75 000 m³(n)/h.

Por tanto, se instalará un número de vaporizadores de agua de mar de:

$$150\,000 / 75\,000 = 2$$

Dado que en condiciones normales la densidad del GN es de 0,725 kg/m³ se obtiene que:

$$m_1 = 150\,000 \cdot 0,725 = 108\,750 \text{ kg/h}$$

Por lo que el caudal másico tratado por cada vaporizador de agua de mar es de:

$$m_{\text{vaporizador}} = 108\,750 / 2 = 54\,375 \text{ kg/h}$$

El gas natural debe dar un salto térmico desde la temperatura de entrada (aproximadamente -150 °C) hasta la temperatura de salida (aproximadamente +4 °C). Teniendo en cuenta además que en este intercambio de calor se produce el cambio de líquido a gas del GNL.

Para llevar a cabo este intercambio de calor se va a utilizar como fluido agua de mar, cuya variación de temperatura máxima permitida es de 5 °C. El caudal de agua de mar necesario se va a calcular mediante un balance energético.

Hay que tener en cuenta que para una misma cantidad de GNL, el caudal de agua de mar necesario para la regasificación puede variar en función de la temperatura de la entrada del agua, pudiendo oscilar considerablemente entre invierno y verano.

En invierno, al disponer de agua de mar a una temperatura más baja que en verano, el caudal necesario de agua sería mayor. Por este motivo, para el cálculo se ha considerado invierno por ser la situación más restrictiva, suponiendo que se dispone de agua de mar a una temperatura de entrada de 12 °C, su temperatura media en invierno.

Además como se puede deducir intuitivamente, para una misma temperatura de agua de mar, a medida que aumenta el caudal de GNL a regasificar aumenta el caudal de agua.

El balance energético es el siguiente:

$$Q_{\text{vaporizador}} = m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pg} \cdot (T_c - T_{gi}) + m_{\text{vaporizador}} \cdot \lambda + m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pl} \cdot (T_{gf} - T_c) = m_{\text{agua}} \cdot C_{pa} \cdot \Delta T_{\text{agua}}$$

Siendo:

$$m_{\text{vaporizador}} = \text{caudal másico del GNL (kg/h)}$$

C_{pg} = calor específico a presión constante del GN vaporizado
(kcal/kg°C)

C_{pl} = calor específico a presión constante del GNL (kcal/kg °C)

λ = calor latente de vaporización del GNL (kcal/kg)

T_c = temperatura de vaporización del GNL (°C)

T_{gi} = temperatura del GNL a la entrada del vaporizador (°C)

T_{gf} = temperatura del GN a la salida del vaporizador (°C)

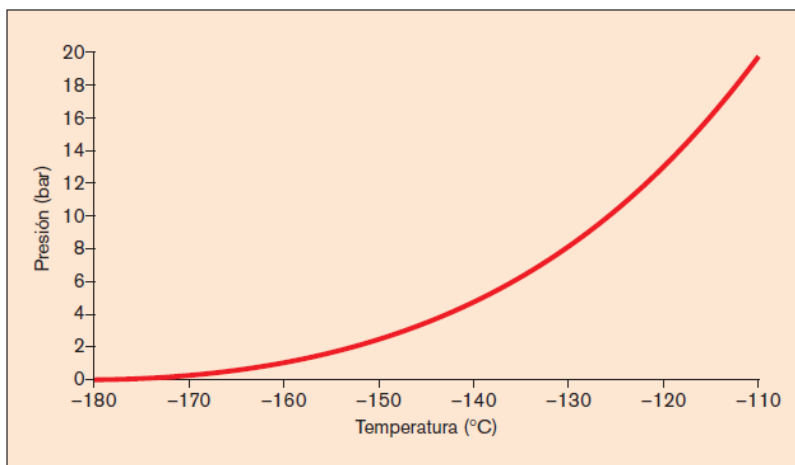
m_{agua} = caudal de la masa de agua de mar (kg/h)

C_{pa} = calor específico del agua de mar (kcal/kg °C)

ΔT_{agua} = salto térmico del agua de mar (máximo permitido)

El cambio de fase del GNL se produce, para cada valor de presión (por encima de su presión crítica), a una temperatura determinada. La Figura 14 muestra, a título informativo, la curva de equilibrio presión-temperatura del GNL entre -180 °C y -110 °C.

Figura 14: Diagrama de equilibrio presión-temperatura del GNL (Manual del Ingeniero Químico)



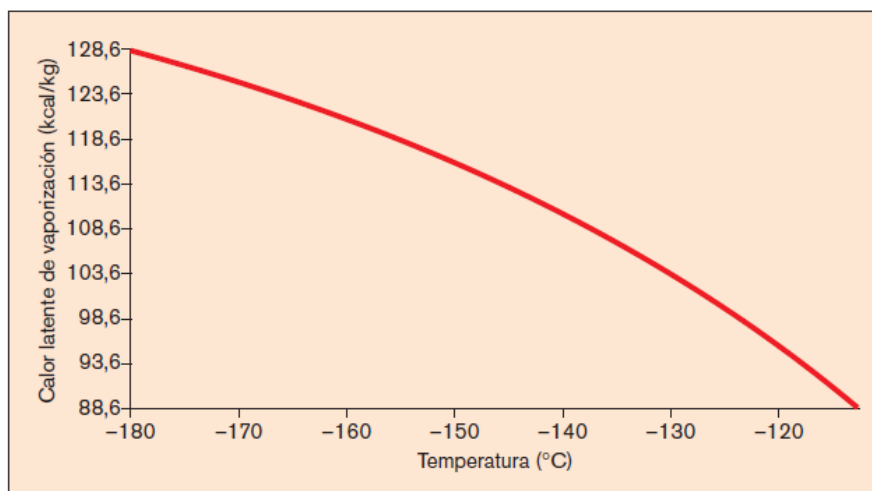
A la presión nominal de 73bar a 74 bar, a la que trabaja el vaporizador, el GNL empieza a vaporizarse a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. En la primera parte del circuito el GNL aumenta su calor sensible desde $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta la temperatura de vaporización.

En el tramo del intercambiador en que se produce la vaporización del GNL la temperatura no se mantiene constante, sino que tanto la fracción de GNL todavía no evaporada, como la de gas vaporizado siguen aumentando. Esto es debido a que la fase gas formada aumenta su calor sensible, proceso promovido por el aún elevado salto térmico entre ambos lados del intercambiador (la pared externa con agua de mar está a unos $12\text{ }^{\circ}\text{C}$), con lo que aumenta la presión interior y se modifica el equilibrio a una temperatura superior. A su vez, esto promueve el aumento de calor sensible de la fase líquida aún no vaporizada.

Por último, una vez vaporizado todo el gas natural, éste acaba de calentarse hasta aproximadamente $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura a la que abandona el vaporizador.

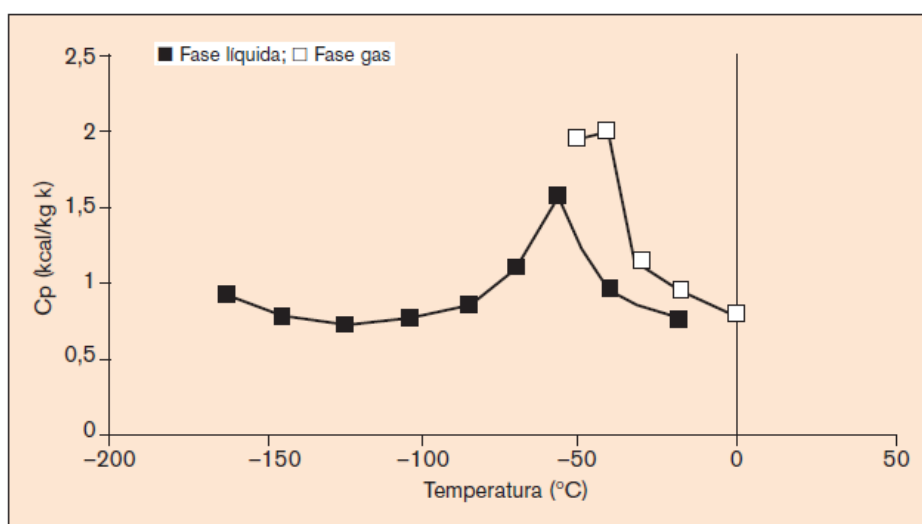
El calor latente de vaporización del GNL depende de la temperatura a la que tiene lugar el cambio de fase, como muestra la Figura 15.

Figura 15: Calor latente del GNL en función de la temperatura (Manual del Ingeniero Químico)



Asimismo, el calor específico del GNL y del GN vaporizado también depende de la temperatura, y su variación es significativa en el tramo de temperaturas a las que trabaja el intercambiador (ver Figura 16).

Figura 16: Calor específico a presión constante en función de la temperatura para el GNL (Manual del Ingeniero Químico)



Por lo indicado, los coeficientes de la ecuación del balance energético varían notablemente a lo largo del intercambiador en el intervalo de temperaturas de trabajo, y para el cálculo del calor horario intercambiado es necesario dividir el intervalo total de temperaturas en tramos más cortos en los que se consideran constantes los parámetros indicados.

Para simplificar los cálculos, estos parámetros se van a tomar como constantes en todo el intervalo, teniendo en nuestro caso:

$$M_g = 54\,375 \text{ kg/h}$$

$$C_{pg} = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{pl} = 0,6 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 118 \text{ kcal/kg}$$

$$T_c = -50 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{gi} = -150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{gf} = +4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_{pa} = 0,932 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{\text{agua}} = 5$$

$$54\,375 \cdot 0,5 (-50 - (-150)) + 54\,375 \cdot 118 + 54\,375 \cdot 0,6 (4 - (-50)) = m_{\text{agua}} \cdot 0,932 \cdot 5$$

$$m_{\text{agua}} = 2\,338\,359 \text{ kg/h} = 2\,339 \text{ t/h}$$

Aplicando el peso específico del agua de mar ($\rho_{\text{agua de mar}} = 1\,026 \text{ kg/m}^3$) se calcula el caudal de agua necesario por vaporizador:

$$Q_{\text{agua}} = 2\,338\,359 / 1026 = 2\,279 \text{ m}^3/\text{h}$$

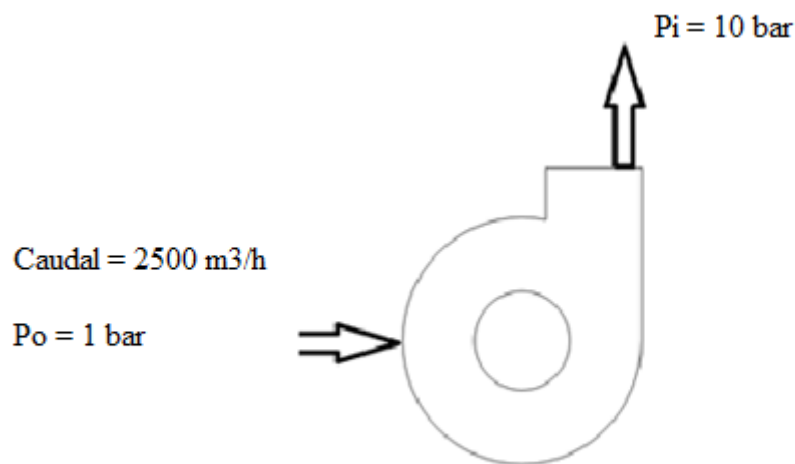
Dimensionamiento de las bombas de agua de mar

A la vista de los resultados se va a instalar dos bombas de agua de mar, una por vaporizador, capaces de tratar un caudal de 2 500 m³/h cada una. Además se instalará una bomba de agua de mar adicional de reserva.

Datos de partida:

Tabla 26: Características del agua de mar

Fluido	Agua de mar
Caudal	2 500 m ³ /h
Densidad del fluido (-160 °C y 1 atm)	1 000 kg/m ³
Presión de origen	1,013 bar
Presión de impulsión	10 bar



La presión de aspiración de la bomba es la presión origen del depósito más la presión estática restando la presión que pierde el fluido por las pérdidas de fricción en la tubería de aspiración.

$$P_{asp} = P_o + P_e - \Delta p_{fa}$$

La presión estática es la presión que ejerce la columna de líquido sobre la bomba, debido a la diferencia de alturas entre el nivel del tanque y la aspiración.

Suponiendo una profundidad del sistema de captación de agua de mar de 10 m de altura, la presión estática sería de:

$$P_e = \rho \cdot g \cdot H = 1.000 \cdot 9,81 \cdot 10 = 98\,100 \text{ Pa}$$

$$P_e = 0,981 \text{ bar}$$

Despreciando las pérdidas por fricción en la tubería de aspiración, la presión de aspiración resulta:

$$P_{asp} = 1,013 + 0,981 = 1,994 \text{ bar}$$

El NPSH disponible se calcula del siguiente modo:

$$NPSHD = P_{asp} - P_{vap}$$

La presión de vapor del fluido a una temperatura ambiente de 20 °C es: 0,023 bar

$$NPSHD = 1,994 - 0,023 = 1,971 \text{ bar}$$

$$NPSHD \text{ (m)} = 1,971 \cdot 10^5 / (1\,000 \cdot 9,81) = 20,1 \text{ m}$$

El GNL tiene que llegar al vaporizador de agua de mar tras vencer las pérdidas de carga de tuberías, boquillas de rociado, etc. Por lo tanto, teniendo estas pérdidas de carga se va a requerir una presión de impulsión mínima de 10 bar.

La altura diferencial tendrá un valor de:

$$P_{dif} = P_{imp} - P_{asp} = 10 - 1,994 = 8,006 \text{ bar}$$

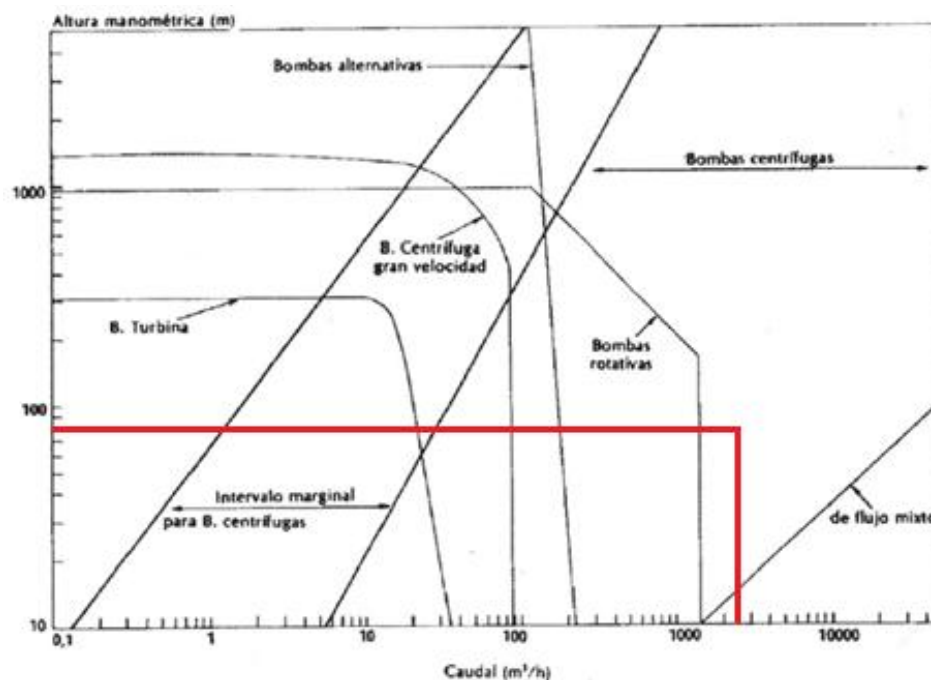
$$\Delta H_{dif} = P_{dif} \cdot 10^5 / (\rho \cdot g) = 8,006 \cdot 10^5 / (1\,000 \cdot 9,81) = 81,6 \text{ m}$$

En la Figura 10 que se muestra a continuación se pueden observar los diferentes rangos de aplicación de los distintos tipos de bombas, y permite seleccionar el tipo de bomba más conveniente.

En nuestro caso, entrando en el gráfico con los siguientes valores:

$$\text{Caudal} = 2\,500 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta H_{\text{dif}} = 81,6 \text{ m}$$



Se puede observar que el punto en la Figura 10 se encuentra en el rango de aplicación de bombas centrífugas.

La potencia hidráulica de la bomba viene dada por:

$$P = \Delta H_{\text{dif}} \cdot g \cdot m \text{ (kg/s)} / 1\,000$$

$$P = 81,6 \cdot 9,81 \cdot (2\,500 \cdot 1\,000 / 3\,600) / 1\,000 = 556 \text{ kW}$$

Suponiendo un rendimiento mecánico del 80% ($\eta = 0,8$), se tiene que la potencia al eje de la bomba es:

$$P = 556 / 0,8 = 695 \text{ kW}$$

Dimensionamiento del vaporizador de agua de mar

Del balance energético realizado anteriormente:

$$\begin{aligned} Q_{\text{vaporizador}} &= m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pg} \cdot (T_c - T_{gi}) + m_{\text{vaporizador}} \cdot \lambda + m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pl} \cdot (T_{gf} - T_c) \\ &= m_{\text{agua}} \cdot C_{pa} \cdot \Delta T_{\text{agua}} \end{aligned}$$

Se deduce que el intercambio de calor en cada vaporizador es de:

$$Q = 54\,375 \cdot 0,5 \cdot (-50 - (-150)) + 54\,375 \cdot 118 + 54\,375 \cdot 0,6 \cdot (4 - (-50))$$

$$Q = 10\,896\,750 \text{ kcal/h} = 1,089 \cdot 10^7 \text{ kcal/h} = 12\,652 \text{ kW}$$

El coeficiente global de transmisión de calor referido al $A_m \rightarrow U_m = 177 \text{ kcal/h m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Este dato es proporcionado por el constructor del vaporizador, material SB-221 6064-T5 (código Asme, sección II, parte B) construido mayoritariamente de aluminio.

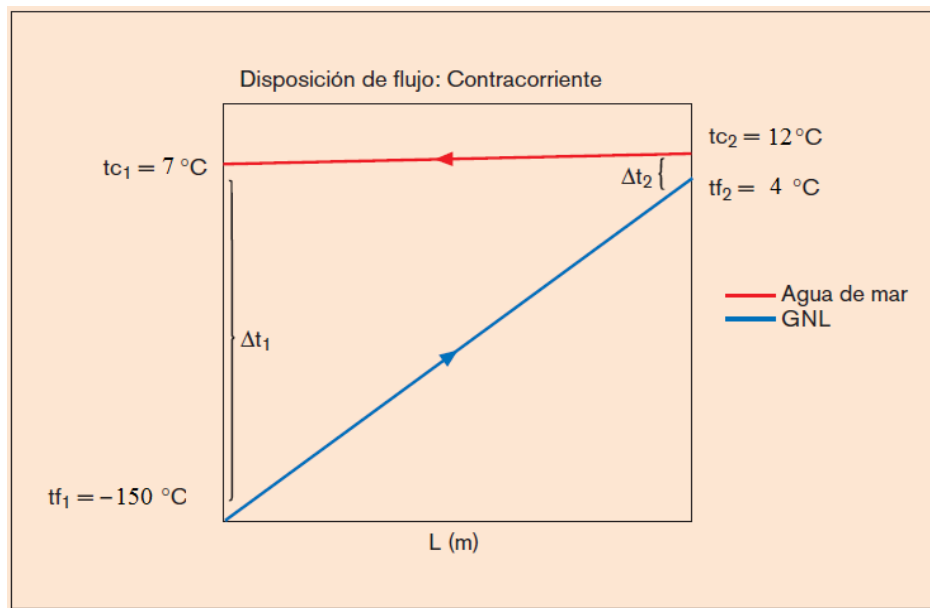
Temperaturas de entrada y salida del agua de mar $t_{c2} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{c1} = 7 \text{ }^\circ\text{C}$.

A partir de la ecuación de diseño de intercambiadores de calor de aísla el área media de intercambio, A_m :

$$A_m = \frac{Q}{U_m \cdot (\Delta t)_m}$$

Δt_m es el salto térmico medio entre ambos lados del intercambiador. En la Figura 17 da una idea del escalado de temperaturas. Δt_m generalmente se calcula como la media logarítmica de la diferencia de temperaturas entre ambas corrientes a la entrada y a la salida del intercambiador, Δt_1 y Δt_2 , según la ecuación:

$$(\Delta t)_m = \frac{(\Delta t_1) - (\Delta t_2)}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

Figura 17: Escalado de las temperaturas en el intercambiador

Para el presente caso:

$$\Delta t_1 = t_{c1} - t_{f1} = 7 - (-150) = 157 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_2 = t_{c2} - t_{f2} = 12 - 4 = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$(\Delta t)_m = \frac{(157) - (8)}{\ln \frac{157}{8}} = 50,05 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Por último, el área media de intercambio en cada vaporizador será:

$$A_m = \frac{1,089 \cdot 10^7 \text{ kcal/h}}{177 \text{ kcal / h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 50,05 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$A_m = 1\,230 \text{ m}^2$$

El proceso de vaporización se realiza en vaporizadores abiertos, cada vaporizador compuesto de dos módulos independientes, constituidos por paneles de tubos aleteados por cuyo interior circula el GNL, calentados en el exterior por una cortina de agua de mar que cae resbalando sobre dichos paneles. Los paneles se

disponen verticalmente, colgados de una estructura de hormigón y unidos entre sí por un colector de GNL en la parte inferior y uno de gas en la superior. Los tubos tienen aletas longitudinales en el exterior. Su sección interior es en estrella y cuenta con una lámina helicoidal interna que favorece la ebullición estable en el interior del tubo.

Recordando que el caudal másico tratado por cada vaporizador de agua de mar es de:

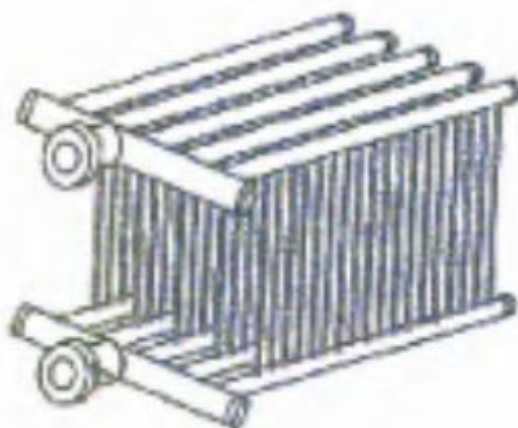
$$m_{\text{vaporizador}} = 54\,375 \text{ kg/h}$$

Y suponiendo una capacidad de vaporización de GNL por tubo de 200 kg/h, se necesita para la vaporización un número de tubos de:

$$N^{\circ} \text{ de tubos} = 54\,375 / 200 = 271,86$$

Redondeando al alza, se van a instalar 280 tubos en cada vaporizador de agua de mar. Al estar compuesto cada vaporizador de dos módulos independientes, en cada uno de estos módulos se tendrá 140 tubos que se van a distribuir en cuatro paneles de 35 tubos por panel.

Figura 18: Esquema de un vaporizador de agua de mar abierto (Google imágenes)



Las características principales de un vaporizador de agua de mar convencional de 75 000 m³(n)/h son las que se muestran en la Tabla 27:

Características	
Caudal GNL	54 375 kg/h
Potencia calorífica	26 000 kW
LADO INTERIOR	
Material	Aluminio
Corrosión	0 mm
Fluido contenido	GNL / GN
Presión de diseño / máx. presión trabajo	140 barg / 75 barg
Temperatura diseño	-170 °C hasta 40 °C
Volumen	750 litros
Tª entrada GNL	-150 °C
Tª salida GN	4 °C
LADO EXTERIOR	
Fluido	Agua de mar
Caudal de agua	2 500 m ³ / módulo
Tª de diseño	0 / 65 °C
Tª mín. entrada / salida H₂O	12 °C / 7 °C
Características físicas	
Nº Unidades (módulos)	2
Nº paneles por unidad	4
Nº tubos por panel	35
Longitud de los tubos	6 m

Tabla 27: Características de un vaporizador de agua de mar

16.3.7 VAPORIZADOR DE COMBUSTIÓN SUMERGIDA

Como se ha visto anteriormente, en caso de indisponibilidad de uno de los vaporizadores de agua de mar o en caso de ser necesario incrementar puntualmente la emisión a red por encima del valor nominal de producción de la terminal, se arrancará el vaporizador de combustión sumergida.

En estos vaporizadores el fluido caliente lo constituye un baño de agua calentado por combustión de gas natural.

El flujo másico de GNL que llegaría al equipo sería el equivalente a uno de los vaporizadores de agua de mar.

Dado que en condiciones normales la densidad del GN es de $0,725 \text{ kg/m}^3$ se obtiene que:

$$m_{15} = 75\,000 \cdot 0,725 = 54\,375 \text{ kg/h}$$

La evaporación del GNL en el vaporizador se producirá isobáricamente a una presión de 74 barg, entrando el gas al equipo con una temperatura aproximadamente de $-150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y saliendo a $+4 \text{ }^{\circ}\text{C}$. En tal caso, la cantidad de calor que deberá aportar el vaporizador al GNL para conseguir su vaporización será:

$$\begin{aligned} Q_{\text{vaporizador}} &= m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pg} \cdot (T_c - T_{gi}) + m_{\text{vaporizador}} \cdot \lambda + m_{\text{vaporizador}} \cdot C_{pl} \cdot (T_{gf} - T_c) \\ &= m_{\text{combustible}} \cdot \text{PCI}_{\text{GNL}} \cdot \eta_{\text{VCS}} \end{aligned}$$

Donde:

$Q_{\text{vaporizador}}$ = calor a aportar al flujo másico de GNL para producir su vaporización, expresado en kJ/h.

$m_{\text{vaporizador}}$ = caudal másico del GNL (kg/h)

C_{pg} = calor específico a presión constante del GN vaporizado (kcal/kg $^{\circ}\text{C}$)

C_{pl} = calor específico a presión constante del GNL (kcal/kg °C)

λ = calor latente de vaporización del GNL (kcal/kg)

T_c = temperatura de vaporización del GNL (°C)

T_{gi} = temperatura del GNL a la entrada del vaporizador (°C)

T_{gf} = temperatura del GN a la salida del vaporizador (°C)

$m_{combustible}$ = caudal de la masa de combustible (kg/h)

PCI_{GNL} : Poder calorífico inferior del GNL a 9 barg (55.300 kJ/kg)

η_{VCS} : Rendimiento del vaporizador de combustión sumergida (0,9)

$$Q_{vaporizador} = 54\,375 \cdot 0,5 \cdot (-50 - (-150)) + 54\,375 \cdot 118 + 108.750 \cdot 0,6 (4 - (-50))$$

$$= m_{combustible} \cdot PCI_{GNL} \cdot \eta_{VCS}$$

$$Q_{vaporizador} = 10\,896\,750 \text{ kcal/h} = m_{combustible} \cdot 55.300/4,184 \cdot 0,9$$

$$m_{combustible} = 917 \text{ kg/h}$$

El calentamiento del baño se produce por contacto directo con los productos de combustión, por lo que el rendimiento energético es muy alto. Además, el coeficiente de transmisión de calor en el lado exterior del serpentín es muy alto por la agitación que provoca en el agua el paso de los gases de combustión, llegando a valores entre 2 y 3 veces superiores a los que se consigue en los vaporizadores de agua de mar.

El coeficiente global de transmisión de calor referido al $A_m \rightarrow U_m = 1\,156 \text{ kcal/h m}^2 \text{ °C}$. Este dato es proporcionado por el constructor del vaporizador.

Temperatura del baño caliente $\rightarrow t_c = 50 \text{ °C}$

Temperaturas de entrada y salida del GNL \rightarrow $t_{f1} = -150\text{ °C}$; $t_{f2} = +4\text{ °C}$.

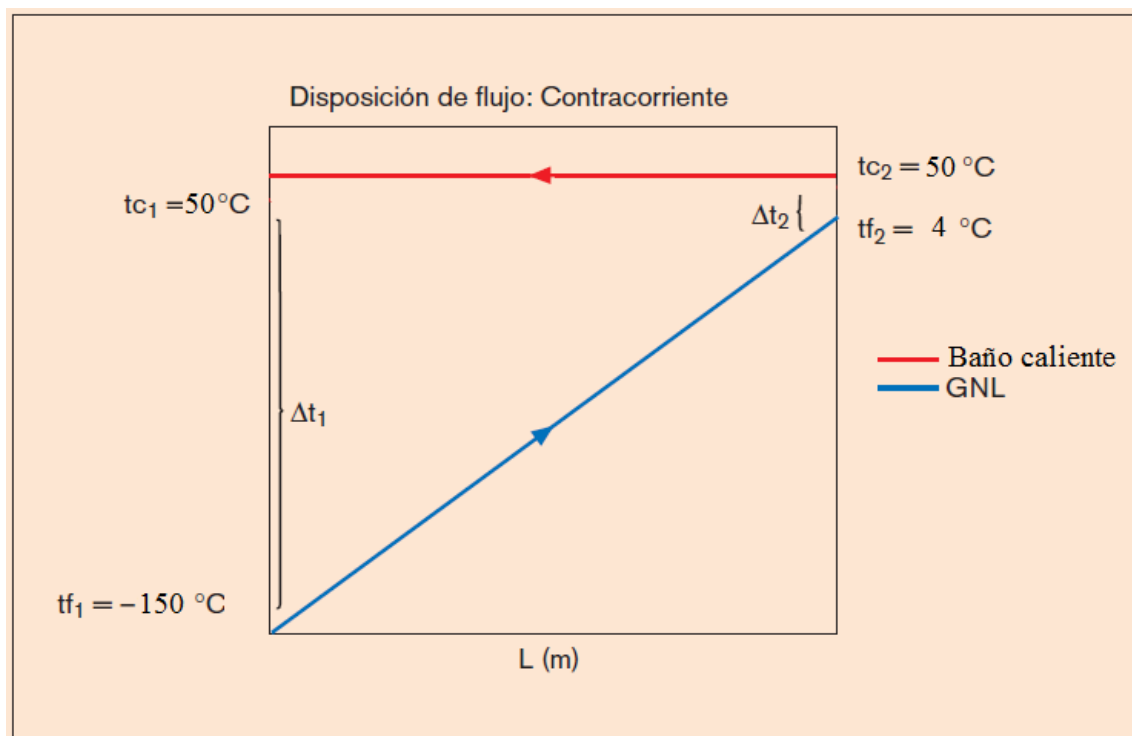
A partir de la ecuación de diseño de intercambiadores de calor se aísla el área media de intercambio, A_m :

$$A_m = \frac{Q}{U_m \cdot (\Delta t)_m}$$

Δt_m es el salto térmico medio entre ambos lados del intercambiador. La Figura 17 da una idea del escalado de temperaturas. Δt_m generalmente se calcula como la media logarítmica de la diferencia de temperaturas entre ambas corrientes a la entrada y a la salida del intercambiador, Δt_1 y Δt_2 , según la ecuación:

$$(\Delta t)_m = \frac{(\Delta t_1) - (\Delta t_2)}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

Figura 19: Gradiente de temperaturas



Para el presente caso:

$$\Delta t_1 = t_c - t_{f1} = 50 - (-150) = 200\text{ °C}$$

$$\Delta t_2 = t_c - t_{f2} = 50 - 4 = 46 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$(\Delta t)_m = \frac{(200) - (46)}{\ln \frac{200}{46}} = 105 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Por último, el área media de intercambio en cada vaporizador será:

$$A_m = \frac{1,089 \cdot 10^7 \text{ kcal/h}}{1\,156 \text{ kcal / h m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 105 \text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$A_m = 89,8 \text{ m}^2$$

El GNL en los vaporizadores de combustión sumergida circula por el interior de un serpentín formado por tubos lisos de acero inoxidable austenítico.

Suponiendo que los tubos tienen las siguientes características:

$$\text{Diámetro} = 1 \text{ pulgada} = 0,0254 \text{ m}$$

$$\text{Longitud} = 28 \text{ m}$$

El número de tubos necesarios en cada vaporizador será de:

$$A_m = 89,8 \text{ m}^2 = \pi D L n$$

$$n = \frac{A}{\pi D L} = \frac{89,8}{\pi \cdot 0,0254 \cdot 28}$$

$$n = 40,20$$

Por lo tanto, el vaporizador de combustión sumergida contará con 42 tubos de diámetro 1 pulgada y longitud 28 m.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**INGENIERO TÉCNICO DE MINAS
ESPECIALIDAD EN: RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y
EXPLOSIVOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)

ANEXO B: LISTADO DE EQUIPOS DE
PROCESO

17 ANEXO B: LISTADO DE EQUIPOS DE PROCESO

En este apartado se incluyen las características técnicas y especificaciones que deben cumplir los equipos de la Planta. El listado de equipos se ha separado por sistemas de proceso.

17.1 LISTADO DE EQUIPOS DE PROCESO

SISTEMA 10 – DESCARGA GNL

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
10–MD01	K.O. Drum pantalán	1/1
10–ML01–A/B	Brazos descarga GNL	2/2
10–ML02	Brazo híbrido GNL	1/1
10–ML03	Brazo retorno vapor	1/1
10–ML04	Paquete hidráulico brazo descarga	1/1

SISTEMA 20 – TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GNL / BOMBAS PRIMARIAS

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
20–MF01	Tanque almacenamiento GNL	1/1
20–MJ01-A/B/C	Bombas primarias GNL	4/3

SISTEMA 30 – RELICUADOR / SISTEMA DE EMISIÓN DE ALTA PRESIÓN

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
30–MC01 A-G	Vaporizadores agua de mar	2/2
30–MC02	Vaporizador combustión sumergida	1/0

30–MC03	Recalentador gas natural	1/1
30–MD01	Relicador	1/1
30–MJ01 A-I	Bombas secundarias GNL	4/3
30–ML01	Estación de medida	1/1
30–ML02	Unidad de odorización	1/1
30–ML03	Trampa de rascadores	1/1

SISTEMA 40 – SISTEMA DE VAPOR

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
40–MD01	K.O. Drum aspiración compresor BOG	1/1
40–ML01–A/B	Compresor BOG	3/2

SISTEMA 51 – SUMINISTRO ELÉCTRICO

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
51–ML01	Generador de emergencia	1/0
51–ML02	Paquete sistema alimentación ininterrumpida	4/4

SISTEMA 55 – SISTEMA DE FUEL GAS

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
55–MC01-A/B	Calentador de fuel gas	2/1
55–MD01	K.O. Drum fuel gas	1/1

SISTEMA 56 – SISTEMA DE AIRE DE PLANTA Y DE INSTRUMENTACIÓN

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
56–MD01	Receptor aire planta	1/1
56–MD02	Receptor aire instrumentación	1/1
56–MJ01-A/B/C	Compresores de aire	3/2
56–ML02-A/B	Secador aire instrumentación	2/1

SISTEMA 57 – SISTEMA DE SUMINISTRO DE NITRÓGENO

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
57–MC01-A/B	Vaporizador de nitrógeno de baja presión	2/1
57–MF01	Tanque de nitrógeno líquido	1/1
57–ML02	Brazo de carga de nitrógeno líquido	1/1

SISTEMA 59 – AGUA DE SERVICIOS

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
59–MF01	Tanque agua de servicios	1/1
59–MJ01–A/B	Bomba agua de servicios	2/1

SISTEMA 60 – SISTEMA DE AGUA DE MAR

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
60–MJ01-A-H	Bombas agua de mar	3/2
60–ML01-A/B/C	Filtros de rejilla	3/2
60–ML02-A/B/C	Criba oscilante	3/2
60–ML03-A/B/C	Paquete cloración agua de mar	3/2
60–ML04-A/B/C	Sistema de filtros agua de mar	3/2
60–ML05 A-L	Compuertas deslizantes	

SISTEMA 63 – PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
63–MF01	Tanque agua dulce contra incendios	1/1
63–MJ01/02	Bombas contra incendios	2/0
63–MJ03-A/B	Bomba jockey contra incendios	2/1
63–MJ04	Bomba agua dulce contra incendios	1/0
63–ML01	Paquete de espuma para cubeto de retención	1/0
63–ML02	Paquete agente químico seco	1/0

63-ML03	Paquete espuma para zona descarga	1/0
63-ML04	Monitores de fuego	8/0

SISTEMA 64 – TRATAMIENTO DE EFLUENTES Y AGUAS RESIDUALES

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
64-CO1	Vasija de desechos químicos	1/1
64-CO2	Vasija de neutralización	1/1
64-ML01	Separador CPI (plato corrugado)	1/1
64-ML02	Unidad de biotratamiento	1/1

SISTEMA 65 – ANTORCHA / VENTEO

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
65-MB01	Conducto antorcha	1/1
65-MD01	K.O. Drum antorcha	1/1
65-ML01	Conducto venteo	1/1
65-ML02	Generador frente de llama	1/1

SISTEMA 66 – SISTEMA DIESEL

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
66-MF01	Tanque gasóleo	1/1
66-MJ01-A/B	Bombas de gasóleo	2/1

SISTEMA 80 – INFRAESTRUCTURAS GENERALES

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
80-C01	Cubeto de retención – Combinado áreas de proceso y almacenamiento GNL	1/1
80-C02	Cubeto de retención pantalán	1/1
80-C04	Colector agua de mar	1/1

80-MJ01	Cubeto de retención agua de lluvia	1/1
	Bomba de aspiración	
80-MJ02	Cubeto de retención agua contra incendios	1/1
	Bomba de aspiración	
80-MJ03	Cubeto de retención pantalan	1/1
	Bomba aspiración agua de lluvia	
80-MJ04	Cubeto de retención pantalan	1/1
	Bomba aspiración agua contra incendios	

SISTEMA 81 – OBRA CIVIL: EDIFICIOS

Identificador	Descripción	Nº equipos instalados/operativos
81-A01	Edificio principal planta	1/1
81-A02	Protección compresor aire	1/1
81-A03	Protección compresor BOG	1/1
81-A04	Grúa compresor BOG	1/1
81-A05	Grúa compresor aire	1/1
81-A06	Sala control pantalan	1/1
81-A07	Taller y almacén	1/1
81-A08	Sala instrumentación campo – área pantalan	1/1
81-A09	Sala instrumentación campo – instalaciones	1/1
81-A10	Sala instrumentación campo – tanques GNL	1/1
81-A11	Edificio de control	1/1

17.2 CONDICIONES OPERATIVAS DE LOS EQUIPOS

10-MD01 K.O. Drum pantalan

- Producto: GN / GNL
- Número de unidades: 1

- Capacidad (por unidad): 12 000 m³/h
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C
- Presión de diseño: 11 bar
- Comentarios:

Tambores e interior diseñados para ajustar el flujo en las dos direcciones.

10-ML01-A/B Brazo descarga GNL

- Producto: GNL
- Número de unidades: 2
- Capacidad (por unidad): 4 000 m³/h
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C
- Presión de diseño: 19 bar
- Dimensiones: 16''
- Comentarios:

Presión de diseño a confirmar mediante prueba hidráulica.

10-ML02 Brazo híbrido GNL

- Producto: GN / GNL
- Número de unidades: 1
- Capacidad (por unidad): 4 000 m³/h
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C
- Presión de diseño: 19 bar
- Dimensiones: 16''
- Comentarios:

Brazo de descarga de GNL. También se puede usar como retorno de vapor en caso de emergencia.

Presión de diseño a confirmar mediante prueba hidráulica.

10-ML03 Brazo retorno vapor

- Producto: GN
- Número de unidades: 1
- Capacidad (por unidad): 12 000 m³/h
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C

- Presión de diseño: 11 bar
- Dimensiones: 16''
- Comentarios:

Presión de diseño a confirmar mediante prueba hidráulica.

10–ML04 Empaquetamiento hidráulico brazo descarga

- Producto: GNL
- Número de unidades: 1
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 30
- Potencia instalada (kW): 30
- Comentarios:

Común a todos los brazos de descarga.

20–MF01 Tanque almacenamiento GNL

- Producto: GN / GNL
- Número de unidades: 1
- Capacidad (por unidad): 150 000 m³
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C

- Presión de diseño: + 0,29 barg / - 0,15 barg
- Dimensiones: $\phi 81,2 \cdot 64$ m
- Comentarios:

Elevado, contención total, tanque exterior y techo de hormigón, tanque interior de acero 9% níquel.

20-MJ01 - A/B/C Bombas primarias GNL

- Producto: GNL
- Número de unidades: 4
- Tipo: Centrífuga
- Capacidad (por unidad): $126 \text{ m}^3/\text{h}$
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 52
- Potencia instalada (kW): 52
- Temperatura máx. de diseño: 80°C
- Temperatura mín. de diseño: -196°C
- Presión de diseño: 19 bar
- Comentarios:

Bombas sumergidas en tanque de almacenamiento. $\Delta P = 10,4$ bar.

Pozo adicional para bomba primaria instalado en tanque.

30–MC01 A-G Vaporizador agua de mar

- Producto: GN / GNL
- Número de unidades: 2
- Capacidad (por unidad): 75 000 m³(n)/h
- Temperatura máx. de diseño: 200 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C
- Presión de diseño: 140 barg
- Presión máx. trabajo: 75 barg
- Volumen: 0,75 m³
- Comentarios:

Incremento temperatura agua de mar de 5 °C.

30–MC02 Vaporizador combustión sumergida

- Producto: GN /GNL
- Número de unidades: 1
- Capacidad (por unidad): 75 000 m³(n)/h

- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 200
- Potencia instalada (kW): 200
- Temperatura máx. de diseño: 65 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C
- Presión de diseño: 130 bar
- Presión máx. trabajo: 75 barg
- Comentarios:

Apoyo a vaporizador de agua de mar en épocas de demanda punta o mantenimiento.

30-MD01 Relicador

- Producto: GN / GNL
- Número de unidades: 1
- Capacidad: 220 m³/h
- Temperatura máx. de diseño: 200 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C
- Presión de diseño: 9 barg
- Volumen: 30 m³

- Dimensiones: $\phi 2,7 \cdot 5,4 \text{ m}$

30-MJ01 A-I Bombas secundarias GNL

- Producto: GNL
- Número de unidades: 4
- Tipo: Centrífuga
- Capacidad (por unidad): $90 \text{ m}^3/\text{h}$
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 236
- Potencia instalada (kW): 236
- Temperatura máx. de diseño: $200 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura mín. de diseño: $-196 \text{ }^\circ\text{C}$
- Presión de diseño: 120 bar
- Comentarios:

$\Delta P = 75 \text{ bar}$. Necesarias 2 bombas para cubrir capacidad nominal de emisión, 3 para punta.

30-ML01 Estación de medida

- Producto: GN
- Número de unidades: 1

- Número de líneas: 3
- Capacidad (por línea): 400 000 m³(n)/h
- Temperatura máx. de diseño: 50 °C
- Temperatura mín. de diseño: -10 °C
- Presión de diseño: 120 bar
- Comentarios:

Incluye línea de medición de reserva.

30-ML02 Unidad de odorización

- Producto: THT
- Número de unidades: 1
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C
- Presión de diseño: 120 bar
- Comentarios:

Unidad de odorización alimentará líneas de emisión a red.
 Odorizante 100% THT.

30-ML03 Trampa de rascadores

- Producto: GN
- Número de unidades: 1
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -29 °C
- Presión de diseño: 120 bar

40-MD01 K.O. Drum aspiración compresor BOG

- Producto: GN / GNL
- Número de unidades: 1
- Temperatura de diseño: 150 °C
- Presión de diseño: 15 bar
- Presión máx. trabajo: 12 bar
- Comentarios:

Vertical

40-ML01-A/B Compresor BOG

- Producto: GN
- Número de unidades: 2 +1 en reserva

- Tipo: Alternativo
- Capacidad (por unidad): 6000 kg/h
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 450
- Potencia instalada (kW): 450
- Temperatura máx. de diseño: 150 °C
- Temperatura mín. de diseño: -180 °C
- Presión de diseño: 15 bar
- Presión máx. trabajo: 12 bar
- Comentarios:

Accionado por motor eléctrico. DP = 9 barg.

Una máquina conectada al suministro eléctrico de emergencia.

51-ML01 Generador de emergencia

- Número de unidades: 1
- Tipo: Alternativo
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 1 960
- Potencia instalada (kW): 2 500
- Comentarios:

Generador Diesel. Tanque combustible para un día de operación.

51-ML02 Paquete sistema alimentación ininterrumpida

- Número de unidades: 4
- Potencia instalada (kW): 2
- Comentarios:

Se montarán sistemas redundantes.

55-MC01-A/B Calentador de fuel gas

- Producto: Fuel gas
- Número de unidades: 2
- Capacidad (por unidad): 1,85 t/h
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C
- Presión de diseño: 120 bar
- Comentarios:

Calentador eléctrico sin ventiladores.

55-MD01 K.O. Drum fuel gas

- Producto: Fuel gas

- Número de unidades: 1
- Capacidad (por unidad): 1,85 t/h
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -170 °C
- Presión de diseño: 120 bar
- Comentarios:

Vertical

56-MD01 Receptor aire planta

- Producto: Aire
- Número de unidades: 1
- Capacidad (por unidad): 5 m³(n)/h
- Temperatura de diseño: 80 °C
- Presión de diseño: 12 bar
- Comentarios:

Vasija vertical

56-MD02 Receptor aire instrumentación

- Producto: Aire

- Número de unidades: 1
- Temperatura de diseño: 80 °C
- Presión de diseño: 12 bar
- Comentarios:

Vasija vertical

56–MJ01-A/B/C Compresores de aire

- Producto: Aire
- Número de unidades: 3
- Tipo: Rotativo
- Temperatura de diseño: 80 °C
- Presión de diseño: 12 bar
- Comentarios:

Compresores rotativos de aire, sin aceite.

3 x 50% del caudal requerido.

Un equipo alimentado por generador de emergencia.

56–ML02-A/B Secador aire instrumentación

- Producto: Aire
- Número de unidades: 2

- Temperatura de diseño: 65 °C
- Presión de diseño: 10 bar
- Comentarios:

2 x 100% de la capacidad requerida.

Incorporará filtro en admisión y en escape.

Parte del sistema de aire de planta/instrumentación.

57-MC01-A/B Vaporizador de nitrógeno de baja presión

- Producto: Nitrógeno
- Número de unidades: 2
- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -196 °C
- Presión de diseño: 10 bar
- Comentarios:

Parte del sistema de almacenamiento y vaporización de nitrógeno líquido.

2 · 50% caudal de aire requerido.

57-MF01 Tanque de nitrógeno líquido

- Producto: Nitrógeno
- Número de unidades: 1

- Temperatura máx. de diseño: 80 °C
- Temperatura mín. de diseño: -196 °C
- Presión de diseño: 10 bar
- Dimensiones: $\phi 3 \cdot 9 \text{ m}$
- Comentarios:

Parte del sistema de almacenamiento y vaporización de nitrógeno líquido.

60–MJ01-A-H Bombas agua de mar

- Producto: Agua de mar
- Número de unidades: 3 (1 en reserva)
- Tipo: Centrífugas
- Capacidad (por unidad): 2500 m³/h
- Temperatura de diseño: 80 °C
- Presión de diseño: 12 bar
- Comentarios:

Accionamiento eléctrico. $\Delta P = 8 \text{ bar}$.

60–ML01-A/B/C Filtros de rejilla

- Producto: Agua de mar

- Número de unidades: 3
- Capacidad: 100 000 m³/h
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 10
- Temperatura de diseño: 50 °C
- Presión de diseño: 12 bar

60–ML03-A/B/C Paquete cloración agua de mar

- Producto: Cloro
- Número de unidades: 3
- Capacidad: 250 m³/h
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 200
- Temperatura de diseño: 50 °C
- Presión de diseño: 12 bar

63-MF01 Tanque agua dulce contra incendios

- Producto: Agua dulce
- Número de unidades: 1
- Capacidad: 1 000 m³/h
- Temperatura de diseño: 40 °C

- Presión de diseño: 0 barg

63-MJ01/02 Bombas contra incendios

- Producto: Agua
- Número de unidades: 2
- Capacidad: 4 000 m³/h
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 1 400
- Potencia instalada (kW): 1 800
- Temperatura de diseño: 40 °C
- Presión de diseño: 17,5 bar
- Comentarios:

Una bomba mediante accionamiento eléctrico y una mediante generador Diesel.

Presión diferencial 12 bar.

2 x 100% caudal a suministrar.

Servicio de agua de mar.

63-MJ03-A/B Bomba jockey contra incendios

- Producto: Agua
- Número de unidades: 2
- Tipo: Centrífuga

- Capacidad: 20 m³/h
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 5
- Potencia instalada (kW): 6
- Temperatura de diseño: 40 °C
- Presión de diseño: 17,5 bar
- Comentarios:

Bomba horizontal.

Presión diferencial 8 bar.

Suministro de agua del tanque de agua dulce del sistema contra incendios.

2 x 100% caudal a suministrar.

63-MJ04 Bomba agua dulce contra incendios

- Producto: Agua dulce
- Número de unidades: 1
- Capacidad: 500 m³/h
- Potencia en servicio (kW) (por unidad): 150
- Potencia instalada (kW): 190
- Temperatura de diseño: 40 °C
- Presión de diseño: 17,5 bar

- Comentarios:

Bomba horizontal.

Presión diferencial 10 bar.

Suministro de agua del tanque de agua dulce del sistema contra incendios.

1 · 100% caudal a suministrar.

63-ML01 Paquete de espuma para cubeto de retención

- Producto: Espuma de alta expansión
- Número de unidades: 1
- Capacidad: 45 m³
- Comentarios:

Vasija contención.

Espuma de alta expansión, ritmo descarga aprox. 380 m³/min.

Rociadores situados en la parte superior de tanque y vasija.

63-ML02 Paquete agente químico seco

- Producto: Agente químico seco
- Número de unidades: 1
- Capacidad: 300 kg
- Comentarios:

3 unidades portátiles: una situada en el atraque, una en área de proceso y una en techo del tanque.

Empleado para pequeños vertidos y fugas.

63-ML03 Paquete espuma para zona descarga

- Producto: Espuma de alta expansión
- Número de unidades: 1
- Capacidad: 21 m³
- Comentarios:

Vasija contención.

Espuma de alta expansión, ritmo descarga aprox. 170 m³/min.

Rociadores situados en vasija.

63-ML04 Monitores de fuego

- Número de unidades: 4
- Comentarios:

Dos unidades elevadas a control remoto para 240 m³/h cada una en la zona del jetty.

Seis unidades elevadas manuales para 120 m³/h en área de proceso.

64-ML01 Separador CPI (plato corrugado)

- Número de unidades: 1
- Comentarios:

El aceite recuperado será evacuado mediante camión.

Bypass para fuego y agua de lluvia.

64-ML02 Unidad de biotratamiento

- Número de unidades: 1
- Comentarios:

Tratamiento de residuos del área de administración previo a vertido al mar.

66-MF01 Tanque gasóleo

- Producto: Gasóleo
- Número de unidades: 1
- Temperatura de diseño: 50 °C
- Presión de diseño: 0 barg
- Comentarios:

Vertical

66-MJ01-A/B Bombas de gasóleo

- Producto: Gasóleo
- Número de unidades: 2
- Tipo: Centrífugas
- Temperatura de diseño: 50 °C

- Presión de diseño: 5 barg

80-C01 Cubeto de retención – Combinado áreas de proceso y almacenamiento GNL

- Número de unidades: 1
- Dimensiones: 10 · 10 · 3 m
- Comentarios:

Asegura drenaje libre hacia el puerto/mar.

Con conducto manual para forzar la dirección del flujo y evitar vertidos de GNL al puerto/mar.

80-C02 Cubeto de retención pantalán

- Número de unidades: 1
- Dimensiones: 8 · 8 · 3 m
- Comentarios:

Asegura drenaje libre hacia el puerto/mar.

Con conducto manual para forzar la dirección del flujo y evitar vertidos de GNL al puerto/mar.

80-C03 Colector agua de mar

- Número de unidades: 1
- Capacidad: 100 000 m³/h
- Dimensiones: 25 · 40 · 6 m
- Comentarios:

Agua de mar a bombear desde el puerto vía tubería de 36”.

Vasija dimensionada con capacidad para agua contraincendios de terminal de GNL.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**INGENIERO TÉCNICO DE MINAS
ESPECIALIDAD EN: RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y
EXPLOSIVOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)

ANEXO C: NORMATIVA APLICABLE

JUAN SANTOS VILLAREJO

NOVIEMBRE DE 2013

18 ANEXO C: NORMATIVA APLICABLE

Complementariamente, se referencia la legislación aplicable siguiente:

- Ley 38/72, de 22 de diciembre, de Protección del Medio Ambiente Atmosférico y Real Decreto 833/75, de 6 de febrero, que desarrolla la Ley 38/72.
- Orden de 18 de octubre de 1976, sobre Protección y Corrección de la Contaminación Atmosférica de Origen Industrial.
- Ley 16/85, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español y RD 111/86, de 10 de enero, por el que se desarrolla parcialmente la Ley 16/85.
- Ley 29/85, de 2 de agosto, de Aguas y RD 849/86, de 11 de abril, Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 1613/85, de 1 de agosto, por el que se modifica parcialmente el Decreto 833/1975 y RD 1154/86, de 11 de abril, por el que se modifican los artículos 5 y 6.5 del RD 1613/85.
- Real Decreto Legislativo 1302/86, de 28 de julio, de evaluación de impacto ambiental.
- Decreto 22/1987, de 23 de septiembre, que desarrolla la Ley 22/1983.
- Real Decreto 717/87, de 27 de mayo, por el que se modifica parcialmente el Decreto 833/75 y se establecen nuevas normas de calidad de aire en lo referente a contaminación de dióxido de nitrógeno y plomo.
- Directiva 97/11/CE del Consejo de 3 de marzo de 1997, por la que se modifica la Directiva 85/337/CEE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

- Real Decreto 833/88, Reglamento RTP.
- Real Decreto 734/88 de 28 de julio, por el que se establecen las normas de calidad de las aguas de baño.
- Real Decreto 1131/88, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del RDL 1302/86 sobre EIA.
- Orden de 28 de febrero de 1989, por la que se regula la Gestión de Aceites Usados y Orden de 13 de junio de 1990 que la modifica parcialmente.
- Orden de 13 de octubre de 1989, por la que se determinan los métodos de caracterización de residuos tóxicos y peligrosos.
- Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo. Trasposición de la Directiva 86/188.
- Real Decreto 258/89, de 10 de marzo, normativa general sobre vertidos de sustancias peligrosas desde tierra al mar.
- Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento general para el desarrollo de la Ley de Costas.
- Decreto 265/1992 por el que se atribuyen competencias a la Junta de Saneamiento en materia de vertidos de tierra al mar.
- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Real Decreto 1321/92, de 30 de octubre, por el que se modifica parcialmente el Real Decreto 1613/85 y se establecen nuevas normas de calidad de aire en lo referente a contaminación por dióxido de azufre y partículas.

- Orden del 31 de octubre de 1989. Normas de emisión, objetivos de calidad, métodos y procedimientos de control. Modificaciones por las Os de 9/5/91 y 28/10/92.
- Real Decreto 1078/1993, de 2 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.
- Orden (BOE 178. de 27/7/1993 y BOE 193. de 13/7/1993), por el que se aprueba la instrucción de conducciones de vertidos de la tierra al mar.
- Reglamento 3093/1994, del consejo de 22 de diciembre, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.
- Real Decreto 1521/1994, de 20 de octubre, por el que se modifica el reglamento de IP aprobado por el RD 2085/1994, de 20 de octubre.
- Real Decreto 1562/1998, por la que se modifica ITC-IP-02, Parques de Almacenamiento de líquidos petrolíferos, del reglamento de IP aprobado inicialmente en 20 de octubre de 1894.
- Real Decreto 363/95, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas.
- Real Decreto de 6 de febrero de 1996, Reglamento de la infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial.
- Ley de Residuos 10/1998, de 21 de abril.
- Resolución de 17 de noviembre, de 1998, de la DGC y EA, por la que se dispone la publicación del catálogo europeo de residuos (CER), aprobado por la Decisión 94/3/CE, de la Comisión, de 20 de diciembre de 1993.

- Ley 46/1999, de 13 de diciembre. de modificación de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
- Real Decreto 1250/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.
- Real Decreto 995/2000, de 2 de junio, por el que se fijan objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y se modifica el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, aprobado mediante el RD 849/1986.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus instrucciones complementarias.
- Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del RDL 1302/1986 de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental.
- Real Decreto 786/2001, de 6 de Julio, por el que se aprueba el reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- Ley 4/1999, de 15 de marzo, del Patrimonio Histórico de Canarias (autonómica).
- Ley 7/2007, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (autonómica).

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**INGENIERO TÉCNICO DE MINAS
ESPECIALIDAD EN: RECURSOS
ENERGÉTICOS, COMBUSTIBLES Y
EXPLOSIVOS**

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
QUÍMICA Y COMBUSTIBLES

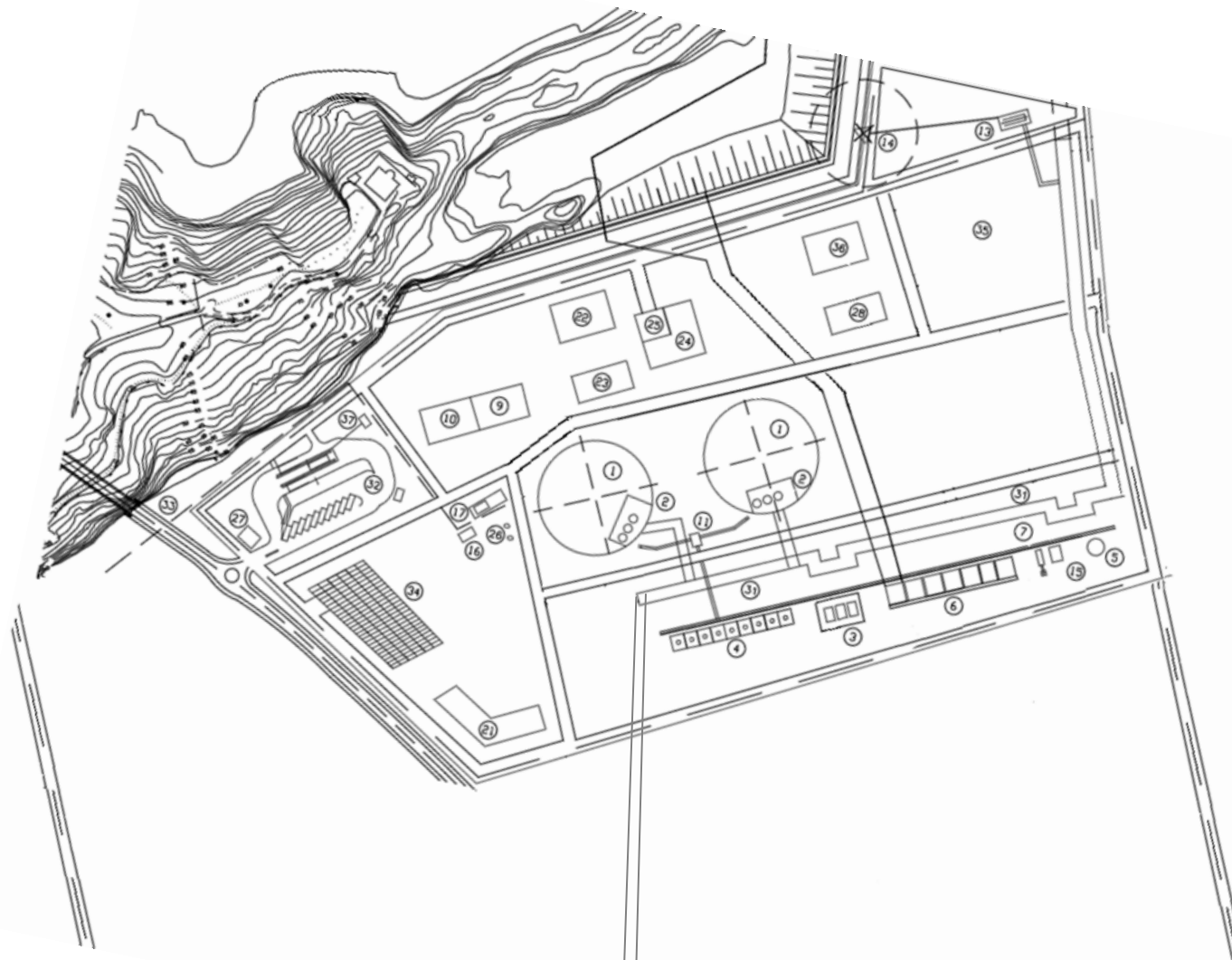
PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)

DOCUMENTO Nº 5: PLANOS

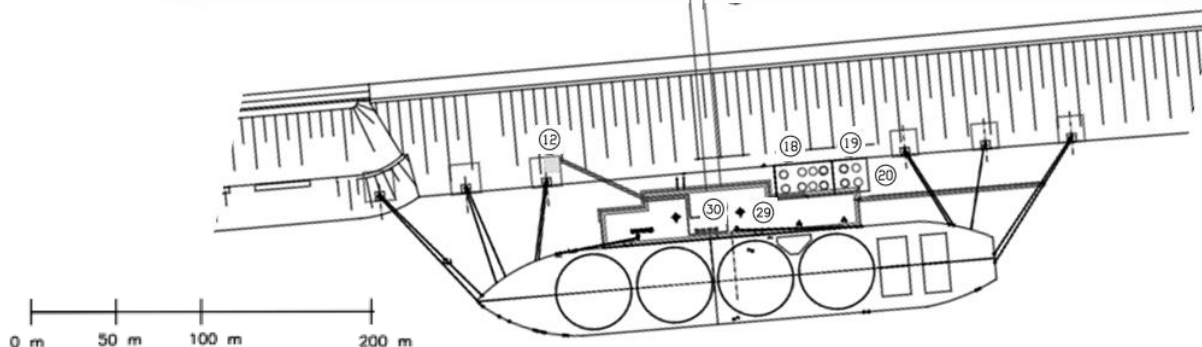
**19 PLANO 01: IMPLANTACIÓN GENERAL
PLOT-001**

**20 PLANO 02: ESQUEMA UNIFILAR SISTEMA
ELÉCTRICO PLOT-002**

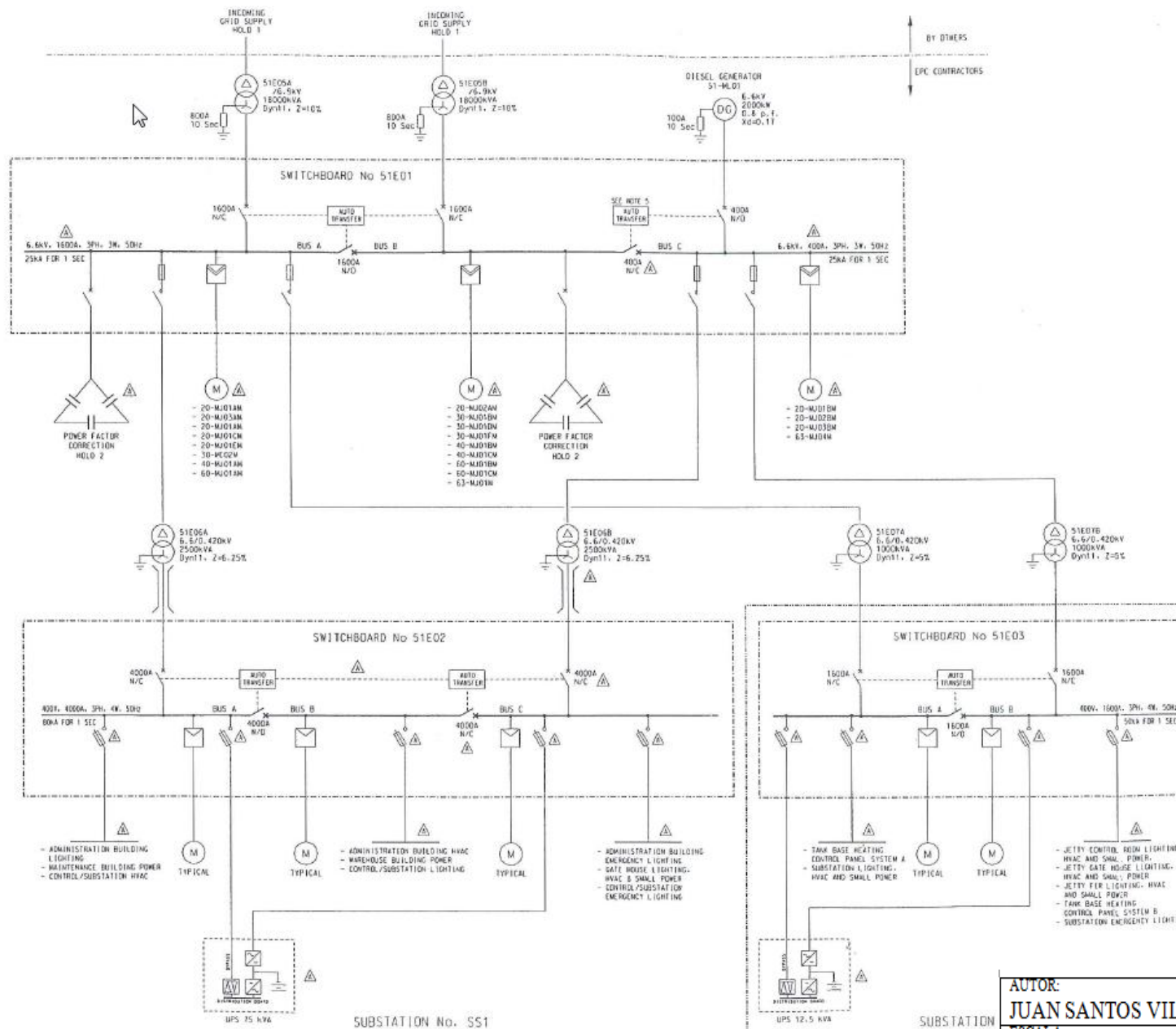
**21 PLANO 03: DIAGRAMA DE TUBERÍAS E
INSTRUMENTOS PLOT-003**



1	TANQUES DE GNL (tres pozos de bomba)
2	BOMBAS PRIMARIAS
3	COMPRESORES BOIL-OFF
4	BOMBAS SECUNDARIAS
5	RELICUADOR
6	VAPORIZADORES DE GNL
7	VAPORIZADOR DE COMBUSTION SUBMERGIDA
8	EMISARIO
9	SUBESTACION ELECTRICA
10	SALA DE CONTROL
11	BALSA DE RECOGIDA DE DERRAMES DEL AREA DE LOS TANQUES Y DEL AREA DE PROCESO
12	BALSA DE DERRAME DEL AREA DE ATRAQUE
13	DEPOSITO SEPARADOR DE ANTORCHA
14	ANTORCHA
15	SISTEMA DE FUEL GAS
16	ODORIZACION
17	ESTACION DE REGULACION Y MEDIDA
18	BOMBAS CAPTACION AGUA DE MAR
19	BOMBAS DCI
20	CAJON PARA TOMA DE AGUA PLANTA Y DCI
21	OFICINAS
22	TALLERES
23	ALMACENES
24	ALMACEN DE INTemperie
25	PARKING DE BOMBEROS
26	UTILITIES (AGUA, AIRE, NITROGENO)
27	CASETA DE ACCESO
28	ZONA PARA CONTRATISTAS/ MANTENIMIENTO
29	PLATAFORMA DE DESCARGA/PANTALAN
30	BRAZOS DE DESCARGA
31	RACK TUBERIAS GNL
32	AREA DE CISTERNAS
33	SALIDA AL GASODUCTO
34	PARKING
35	ZONA CONTRATISTAS OBRA/INST. TEMPORALES
36	FUTURA AREA DE APROVECHAMIENTO DE FRIO
37	BALSA DE RECOGIDA-CARGADERO CISTERNA



AUTOR: JUAN SANTOS VILLAREJO	E.T.S. INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA
ESCALA: S/E	PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE GRANADILLA (TENERIFE)
FECHA: NOVIEMBRE 2013	TÍTULO: IMPLANTACIÓN GENERAL
Nº DE PLANO: PLOT-001	



AUTOR:
JUAN SANTOS VILLAREJO
ESCALA:

S/E

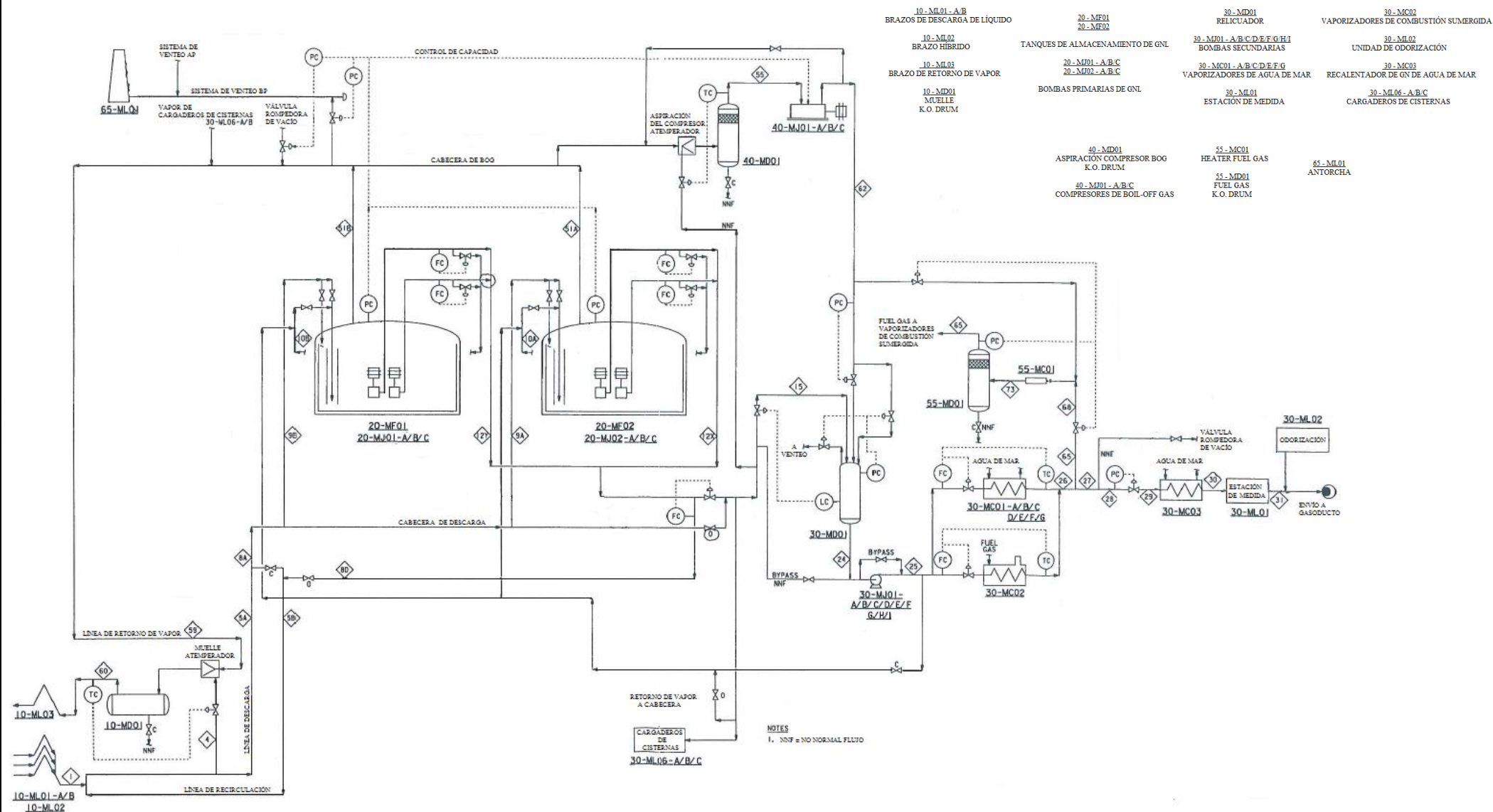
FECHA:
NOVIEMBRE 2013
Nº DE PLANO:
PLOT-002

E.T.S. INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

**PLANTA DE REGASIFICACIÓN DE
GRANADILLA (TENERIFE)**

TÍTULO:

ESQUEMA UNIFILAR SISTEMA ELÉCTRICO



AUTOR: JUAN SANTOS VILLAREJO	E.T.S. INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA
ESCALA: S/E	PLANTA DE REGASIFICACION DE GRANADILLA (TENERIFE)
FECHA: NOVIEMBRE 2013	TITULO:
Nº DE PLANO: PLOT-003	DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTOS

